



# Är bor nödvändigt vid skogsgödsling i Sverige?

*Is boron necessary in Swedish forest fertilization?*

**Mattias Sundberg**

Handledare: Johan Bergh, SLU

Mats-Åke Lantz, SCA Skog AB

---

Sveriges lantbruksuniversitet

Examensarbete nr 154

Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap

Alnarp 2010

---





# Är bor nödvändigt vid skogsgödsling i Sverige?

*Is boron necessary in Swedish forest fertilization?*

**Mattias Sundberg**

Handledare: Johan Bergh, SLU

Mats-Åke Lantz, SCA Skog AB

Examinator: Eric Agestam

---

Sveriges lantbruksuniversitet

Examensarbete nr 154

Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap

Alnarp 2010

Examensarbete i skogshushållning, 30hp D, ingående i Jägmästarprogrammet. SLU kurskod EX0505

---



## Förord

Den här rapporten är resultatet av ett examensarbete på 30 högskolepoäng vid institutionen för Sydsvensk skogsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp, och har genomförts på uppdrag av SCA Skog AB.

Jag vill uttrycka ett stort tack till:

Mats-Åke Lantz, Mike Bobik och Louise Hjelmroth på SCA Skog i Sundsvall

Johan Bergh och Eric Agestam, SLU, Institutionen för Sydsvensk skogsvetenskap

Tord Magnusson och Margareta Söderström, SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Folke Pettersson, Skogforsk, Uppsala

Lisa Sundberg för hjälp med korrekturläsning

*Mattias Sundberg*

Umeå, 6 april 2010

## Sammanfattning

Detta arbete är utfört på uppdrag av SCA Skog AB för att bedöma behovet av bor vid skogsgödsling i Sverige. Bor har använts schablonmässigt i skogsgödsel sedan början av 1980-talet. Detta innebär en fördyring av gödselmedlet och därför har frågan väckts om nödvändigheten av bor i skogsgödsel i Sverige.

Den svenska berggrunden är generellt borfattig. Det bor som finns är till stor del otillgängligt för växterna då det är bundet i det svårvittrade mineralet turmalin. Detta medför att tillskottet genom vittring till marken är lågt, undantaget marina sediment. Tillförseln av bor sker främst genom atmosfäriskdeposition och nedbrytning av organisktmaterial. Depositionsnivåerna skiljer sig åt i olika delar av Sverige. I norra Sverige är depositionen låg, undantaget ett bälte närmast kusten. I södra Sverige är depositionen betydligt högre. I framförallt norra Sverige måste därför trädens behov till stor del täckas av det bor som frigörs när organisktmaterial bryts ned.

I försöken som studerats i litteraturstudien har borhalten i barren i de flesta fall sjunkit efter gödsling. Trots att borhalten sänkts efter gödsling har det i de flesta av försöken inte konstaterats några omfattande tillväxtstörningar. I de fall som tillväxtstörningar konstaterats har bestånden gödslats mer än en gång med korta intervall mellan gödslingarna. Bestånden var med få undantag placerade i Norrlands inland. Mängden kväve som tillförts har i de flesta fallen varit högre än den praktiskt tillämpade givan 150 kg/ha. Att bristsymptom inte uppkommer tyder på att det bor som tillförs genom deposition och framförallt nedbrytning av organiskt material är tillräckligt för att täcka trädens behov, även då beståndet har gödslats tidigare. Tillväxtstörningar efter första gödslingen är obefintliga i Sverige. Tillväxtstörningar efter andra eller tredje gödsling har troligen liten ekonomisk betydelse med hänsyn till kvalitetsförluster då eventuella skador kommer att uppstå vid en trädhöjd där kvaliteten är av mindre betydelse.

Vid de gödslingsgivor som används i dagens skogsbruk är risken för ekonomiskt betydande tillväxtstörningar liten på det växande beståndet. Kunskapsläget idag om hur efterföljande trädgenerationen påverkas av tidigare gödsling utan bor är bristfällig. Risken för skador på grund av borbrist måste dock anses som minimal då beståndets borbehov är lägre under ungskogsfasen och studier visar att borhalten i barren återgår till nära de ursprungliga nivåerna efter att gödslingseffekten har avtagit.

Att utesluta bor i gödselmedel medför en risk för negativa ekonomiska konsekvenser, men resultatet av litteraturstudien tyder på att denna risk är låg på de flesta marker som är aktuella för skogsgödsling.

*Nyckelord: Bor, skogsgödsling, tillväxtstörning, mikronäringsämne.*

## Abstract

This thesis has been made on behalf of SCA Skog AB to assess the need of boron in Swedish forest fertilization. Boron has been added to Swedish forest fertilizers since the beginning of the 1980s. This makes the fertilizers more expensive and therefore has the necessity of boron in Swedish forest fertilization been raised.

The Swedish bedrock generally contains small amounts of boron. The boron in the bedrock is tightly bound to the mineral tourmaline and mostly unavailable for plants. This leads to that the contribution of boron to the soil from weathering is very low besides soils with marine sediments. Boron added to the soil originates by most parts from atmospheric deposition and weathering of organic matter. The deposition levels differ in different parts of Sweden. In northern Sweden the deposition levels are low except from a belt along the coastline. The levels in southern Sweden are considerably higher. Therefore most of the boron supply to the trees has to be covered by weathering of organic matter, especially in northern Sweden.

The boron levels in the majority of the surveys found in literature have been lowered after fertilization. Despite the lower levels of boron, growth disturbance have in most cases only occurred to a limited extent. When growth disturbance have occurred the stand has been fertilized more than one time and with shorter interval than practiced in commercial forestry. The stands were with few exceptions located in the inland of northern Sweden. The amount of nitrogen applied to the stands exceeded in most cases the levels 150 kg/ha, which are normally applied in commercial forestry. The lack of growth disturbance indicates that the boron supplied by deposition and above all from weathering of organic matter was sufficient to cover the boron needs of the trees, even though the trees have been fertilized previously. Growth disturbance after a first fertilization are nonexistent in Sweden. If growth disturbance occur after the second or third fertilization, the economical effect will be limited due to that the damage will occur at a tree height where the quality is of less importance.

With the amounts and interval that are used in commercial forestry today, the risk of substantial growth disturbance is low in growing stand. The knowledge on how the following tree generation is affected by previous fertilization without boron is not sufficiently examined. The risk of boron damages in young stands is considered to be minimal since young forests have lower demands of boron and that surveys of the boron needle level show that the boron levels in needles return close to the original level when the fertilization effect has declined.

To exclude boron in forest fertilization involves risks of negative economical effects, but the result of the literature studies indicate that this risk are considered to be low in most stands where fertilization will be conducted.

*Keywords: Boron, forest fertilization, growth disturbance, micronutrient.*

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund .....</b>	<b>8</b>
2.1	Allmänt om bor .....	8
2.2	Borkällor .....	10
2.3	Borets tillgänglighet för växter i marken .....	12
2.4	Boradsorptionsytor i jord .....	13
2.5	Borets funktion i barrträd .....	16
2.6	Rapporter om borbrist .....	20
<b>3</b>	<b>Material och metoder .....</b>	<b>26</b>
3.1	Bestånden .....	26
3.2	Barrprovsinsamling .....	26
3.3	Barranalys .....	27
3.4	pH mätning .....	27
3.5	Textur .....	27
3.6	Avstånd till kust .....	28
3.7	Övriga faktorer .....	28
3.8	Statistik .....	28
<b>4</b>	<b>Resultat .....</b>	<b>29</b>
4.1	Beståndsdata .....	29
4.2	Bor- och kvävehalt före och efter gödsling .....	30
4.3	Variationsanalys av tidigare gödslingsbehandlingars påverkan .....	33
4.4	Korrelationstest .....	34
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>36</b>



5.1	Litteraturstudien .....	36
5.2	Fältförsöket .....	36
5.3	Slutsats .....	37
<b>6</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>38</b>
	Bilaga 1. Kartor över beståndens placering i Medelpad .....	40
	Bilaga 2. Kartor över beståndens placering i Norrbotten .....	42
	Bilaga 3. Analysresultat Medelpad .....	44
	Bilaga 4. Analysresultat Norrbotten .....	45
	Bilaga 5. Jämförelse av bor- och kvävehalt, före och efter gödsling.....	46
	Bilaga 6. Korrelationstest.....	47
	Bilaga 7. 29 Tårarjaur block 1, absolut och relativ grundytetillväxt. ....	48
	Bilaga 8. 29 Tårarjaur block 2, absolut och relativ grundytetillväxt. ....	49
	Bilaga 9. 25 Gällivare block 1, absolut och relativ grundytetillväxt .....	50
	Bilaga 10. 25 Gällivare block 2, absolut och relativ grundytetillväxt .....	51

# 1 Inledning

Fram tills 1960-talet bedrevs skogsgödsling i det praktiska skogsbruket i begränsad omfattning. Efter att Kungliga skogs- och lantbruksakademin anordnat en skogsgödselkonferens 1962, började bestånd som stod nära slutavverkning att gödslas mer allmänt. Skogsgödslingen ökade kraftigt till slutet av 1970-talet (Hansson 1984). Gödslingsarealen var år 1980, 168500 ha för att sedan minska under 1980 och 90-talet. År 2002 gödslades 13800 ha. Från 2003- 2008 finns en trend att skogsgödslingen ökar, 2008 gödslades 59600 ha i det storskaliga skogsbruket (Skogsstyrelsen 2009). Tillväxtstörningar på grund av brist på mikronäringsämnen i naturliga bestånd är mycket ovanligt. Dessa bristsymptom kan uppstå då beståndet påverkats genom till exempel gödsling (Brække 1983). Vid gödslingsförsök med flera upprepade kvävegödslingar på 1970-talet uppkom tillväxtstörningar. Skadorna kunde senare härledas till att träden led av borbrist (Möller 1982). Utifrån resultatet av dessa studier, har bor använts schablonmässigt inom skogsbruket de senaste decennierna för att undvika skador på grund av borbrist.

Skog-Can som idag är det dominerande kvävegödselmedlet vid skogsgödsling i Sverige, innehåller 0,2 % bor. Vid en normal kvävegiva på 150kg/ha innebär detta att 1,1 kg bor per ha tillförs marken. Borttillsatsen innebär en fördyring av gödselmedlet men hur stor denna skillnad är varierar beroende på prisbilden på gödselmedel. SCA gödslar i år ca 25000 ha på egen skog och borttillsatsen bedöms medföra en merkostnad på knappt 2 miljoner kronor (Lantz muntl. komm.). Denna fördyrning har väckt frågan om det är nödvändigt med borttillsats vid skogsgödsling i Sverige.

Arbetet består av två delar. I första delen av arbetet har en litteraturstudie utförts, där befintlig kunskap i ämnet har sammanställts. I litteratursökningen har tyngdpunkten lagts på artiklar och rapporter som behandlar borbrist i borealt- och kalltempererat klimat. Andra delen är ett fältförsök där barrprover samlats in, före och efter gödsling på varje bestånd. Vid andra provtagningsomgången mättes även pH i marken och jordtexturen.

Syftet med detta examensarbete är att genom en sammanställning av befintlig kunskap och insamlat data, göra en bedömning om det finns ett behov av bor i skogsgödselmedel.

## 2 Bakgrund

### 2.1 Allmänt om bor

Bor är ett grundämne och en halvledare med kemiska beteckningen B. Bor är ett essentiellt mikronäringsämne vilket innebär att ämnet är livsnödvändigt för växternas tillväxt och att behovet av ämnet är relativt litet i jämförelse med makronäringsämnena. Bor skiljer sig från andra mikronäringsämnena genom att det är sällsynt förekommande i jordskorpan och det finns ett relativt stort överflöd i havsvatten, där medelkoncentrationen för världens hav är 4,6 mg/kg (Stone 1990). Bor förekommer inte i ren form i jordskorpan och är alltid bundet till syre i borsyra  $B(OH)_3$ , borat (salt av borsyra)  $B(OH)_4^-$  eller som boratsilikat (mineral) (Ahl & Jönsson 1972). Borsyra och borat är lösliga i vatten vilket resulterar i risk för urlakning till älvar och åar, för att sedan ansamlas på havsbotten (Wikner 1983). Anrikningen av bor i marina växter är mycket liten i jämförelse med exempelvis kväve och fosfor (Ahl & Jönsson 1972). Intervallet mellan

underskott- och toxiska halter av bor i jorden är relativt litet, detta är viktigt att ta hänsyn till vid borgödsling (Stone 1990).

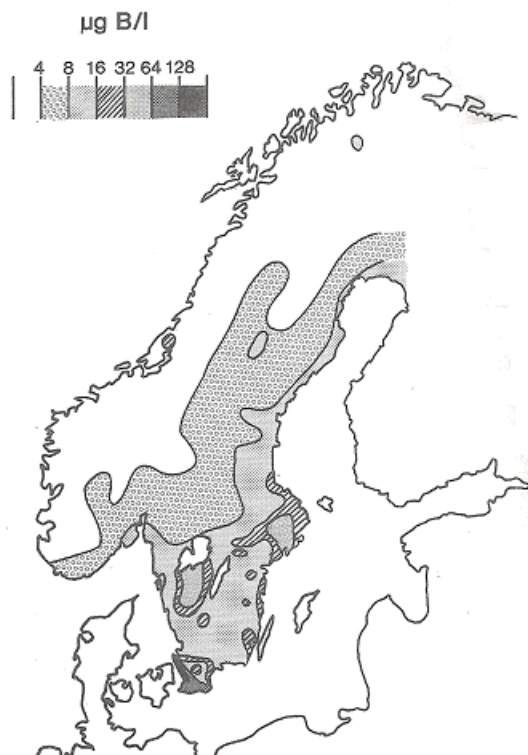
### **2.1.1 Bor i marken**

Bor kan finnas i marken i fyra olika poler:

- Minerogent
- Organiskt material och mikrobiell biomassa,
- Adsorberat till lerpartiklar, hydroxider eller organiskt material
- I markvätskan som borsyra.

Växter kan endast tillgodogöra sig bor som är fritt i markvätskan (Folkesson 2007).

Det finns väldigt lite dokumenterat om borhalter i berg och mark i Sverige. Varken SLU:s markinventering eller SGU:s (Sveriges Geologiska Undersökning) och Lantmäteriets mineralogiska kartmaterial innefattar bor. En av orsakerna är analystekniken, eftersom litiummetaborat används för att smälta proverna vid analyser av bergarters mineralinnehåll. Detta ger ett högt utbyte av de analyserade metallerna men påverkar borhalten i för stor utsträckning. Det finns indirekta bevis för att halten av växttillgängligt bor är låg, framför allt i norra Sverige (K. Lax, muntl. komm.). En studie av borhalten i svenskt och norskt färskvatten visar att borhalten i svenska älvar är låg. Värdena varierade från 1-1046 µg B/l. Medianvärdet för de älvar där proverna togs var 13,0 µg B/l. Dessa älvars upptagningsområde täcker ca 35 % av Sveriges yta. Norr om 60: e breddgraden var älvarnas borhalt lägre än 5 µg B/l. De regionala skillnaderna beror på skillnader i geologi, markanvändning och befolkningstäthet (Ahl & Jönsson 1972). Figur 1 nedan visar en karta över koncentrationer av bor i Skandinaviens färskvatten.



**Figur 1.** Borkoncentrationer i Skandinavienens färskvatten (Wikner 1983).

*Figure 1.* The concentrations of boron in Scandinavian fresh water (Wikner 1983).

## 2.2 Borkällor

### 2.2.1 Vittring och mineralisering

Jordskorpan kemiska sammansättning och förekomsten av bor är komplicerad och det finns stora kunskapsluckor. Analystekniska svårigheter har gjort det omöjligt att få en klar bild av hur boret påverkas vid berggrundsbildning (Wikner 1983). Berggrunden i Sverige innehåller mycket gnejs och granit. Dessa bergarter innehåller låga halter av bor (Ahl & Jönsson 1972). Bor i den skandinaviska berggrunden återfinns i många olika mineral men till största delen som mineralet turmalin. Turmalin är ett spårmineral som ofta återfinns i pegmatit men även i omvandlad kvartsit och skiffer samt i granit och gnejs. Det innehåller 10-11 viktprocent bor men mineralen är mycket svårslösliga och i praktiken har turmalin, liten eller ingen betydelse som borkälla för växter (Folkesson 2007). Helmisaari (1995) har undersökt näringscykeln i tallbestånd i östra Finland. Denna undersökning visar att borinnehållet i det organiska materialet som tillförs marken via barrföna i äldre tallbestånd uppgick till 2,3 mg B/m<sup>2</sup> och år (Helmisaari 1995).

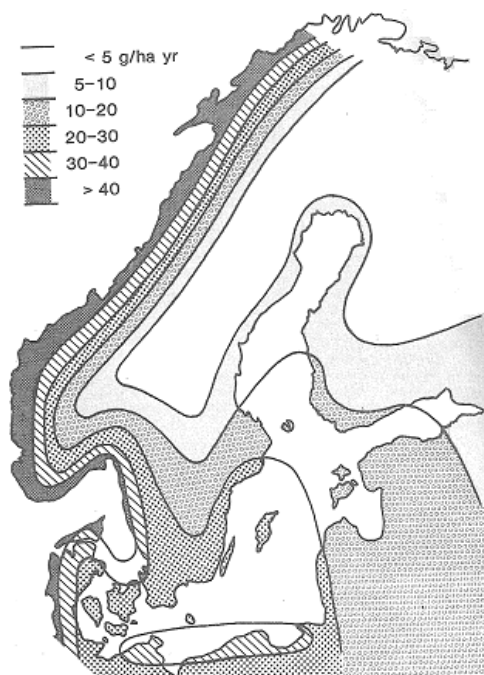
### 2.2.2 Marina sediment

Trots den låga halten av tillgängligt bor i berggrunden kan områden med marina sediment innehålla relativt höga halter av bor. Dessa områden återfinns främst under högsta kustlinjen (Brække 1983). Hur höga borhalter som kan förväntas beror av flera faktorer. Innehållet av bor i marina sediment härrör från havets salt som överförs till bottensedimentet genom absorption. Hur höga halter som sedimentet kan uppta är beroende av flera faktorer. En viktig faktor är sedimentets kemiska och fysiologiska sammansättning, kvarts- och kalksediment har lägre halter

av bor än ler- och järnrika sediment. En annan mycket viktig faktor är havets salinitet och borkoncentration, där sediment har avsatts. Landergren (1944) har utfört en studie där borhalten i marina sediment undersöktes. Studien utfördes på tre olika områden, Koster, Alsbäck och Sundsvall. Borhalterna i respektive område var 0,015 %, 0,008 % och 0,0025 % i de översta 50 cm av sedimenten. Halterna i hela profilen som varierade mellan 6-8 meter var 0,014 %, 0,010 % samt 0,003 %. Studien visar på att det finns ett samband mellan vattnets salthalt och borhalten i sedimenten. Salthalten i Bottenviken är låg, 6 ‰, jämfört med 35 ‰ för Skagerak och Kattegatt (Landergren 1944).

### 2.2.3 Atmosfäriskt nedfall

Som beskrivits ovan ackumuleras bor i havet. Med hjälp av havsvindar och nederbörd återförs bor från havet tillbaka in till land. Hur stort nedfallet av bor är varierar mycket i olika delar av landet. Sveriges västkust har ett årligt nedfall på 15-40 g/ha och norra Sverige har i snitt ett årligt nedfall på 8 g/ha. Regionala variationer är dock stora, Suddesjaur i Norrbotten hade ett nedfall på endast 1-3 g/ha. Storleken på depositionen är beroende av klimatet där depositionen är högre under sommarhalvåret och även att borkoncentrationen är högre i regn än i snö. Starka vindar medför en ökad deposition. Andra faktorer som inverkar är hur stor koncentrationen är i havet och hur långt avståndet är från kusten (Wikner 1983). Figur 2 nedan visar depositionen av bor över Skandinavien.

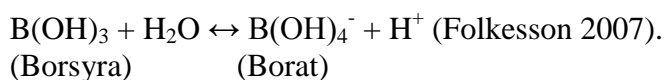


**Figur 2.** Den årliga B-depositionen i norra Europa (Wikner 1983).

*Figure 2.* The annual deposition of boron in the north of Europe (Wikner 1983).

### 2.3 Borets tillgänglighet för växter i marken

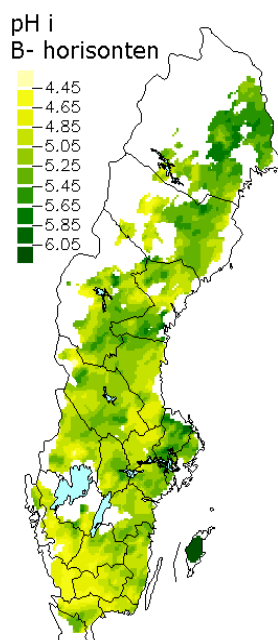
Bor genomgår till skillnad mot andra näringsämnen inte oxidations- och reduktionsreaktioner i jord. Borsyra är en svag enbasisk syra, detta innebär att den bara innehåller en utbytbar väteatom per molekyl. Borsyran fungerar som en Lewissyra, genom att ta upp en hydroxyljon och avge en vätejon bildas en boratjon (Goldberg 1997). Den empiriska formeln för reaktionen är:



Borkoncentrationen i markvätskan är i regel styrd av boradsorptionsreaktioner. Eftersom växter endast kan ta upp bor som är löst i markvätskan har detta stor betydelse för hur mycket bor som är tillgängligt för växterna. De faktorer som påverkar om bor i marken är tillgängligt för växterna är pH, textur, fuktighet, temperatur samt markens innehåll av organiskt material och lermineral (Goldberg 1997).

#### 2.3.1 pH

En av de viktigaste faktorerna som påverkar borets tillgänglighet för växterna är markens pH. Med ett ökat pH minskar tillgängligheten för växterna på grund av boradsorptionen (Goldberg 1997). Borsyra är en mycket svag syra och detta medför att syran i större utsträckning kan uppta negativt laddade hydroxyljoner istället för att avge positiva vätejoner. När pH-värdet stiger ökar borsyrans upptag av hydroxyljoner, då bildas svårslösligt borat. Borat är en negativt laddad partikel och adsorberas därför till adsorptionsytor på markpartiklarna (Johansson 2002). Andelen tillgängligt bor i marken minskar som en funktion av markvätskans pH i ett intervall mellan pH 3-9. Vid vilket pH-värde adsorptionsmaximum uppnås varierar mellan olika adsorptionsytor i jorden (Goldberg 1997). Detta beskrivs närmare i avsnittet Boradsorptionsytor i jord nedan. Figur 3 nedan visar pH i markens B-horisont för ägoslaget skogsmark.

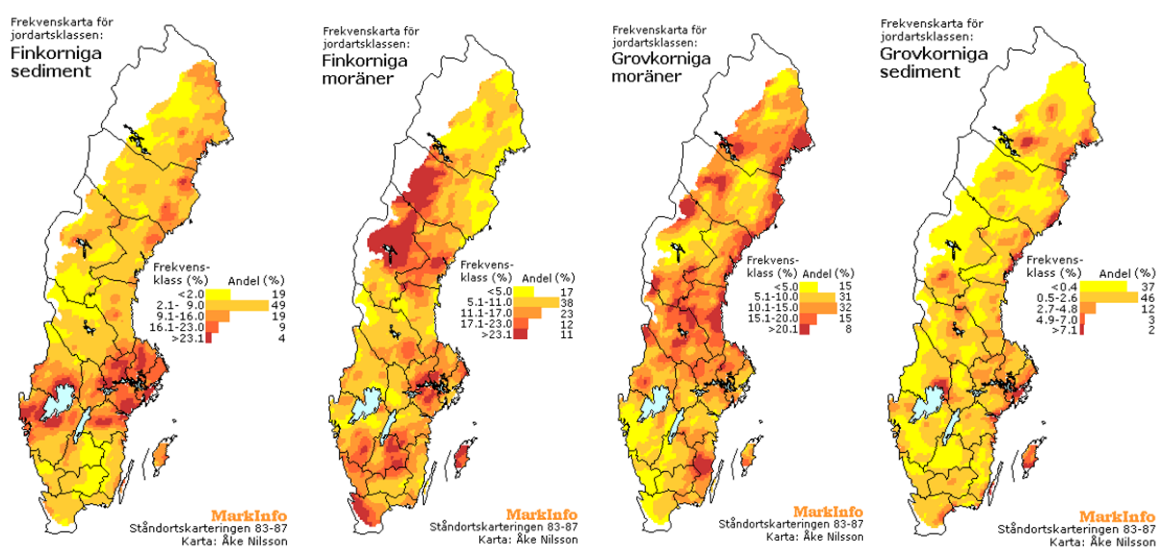


**Figur 3.** Karta som över pH i markens B-horisont för ägoslaget skogsmark (Markinfo, SLU, Uppsala).

**Figure 3.** Map showing pH in the ground B-horizon at forestland (Markinfo, SLU, Uppsala).

### 2.3.2 Marktextur

Grövre jordarter som sandiga jordar innehåller i regel mindre tillgängligt bor än finare texturer. Vid identiska halter av vattenlösligt bor är växternas upptag större på de grövsta texturerna. Adsorptionen av bor är beroende av jordens textur och borets adsorptionsmaximum ökar med ökat lerinnehåll (Goldberg 1997). Figur 4 nedan visar hur stor andel av skogsmarksarealen som utgörs av jordartsklasserna finkorniga sediment, finkorniga moräner, grovkorniga sediment och grovkorniga moräner.



**Figur 4.** Frekvenskartorna visar hur stor andel av skogsmarksarealen som utgörs av jordartsklasserna finkorniga sediment, finkorniga moräner, grovkorniga sediment, finkorniga moräner och grovkorniga moräner (Markinfo, SLU, Uppsala).

**Figure 4.** Frequency map showing how much of the woodland area that consists of the soil classes fine-grained sediments, coarse-grained sediments, fine-grained moraines and coarse-grained moraines (Markinfo, SLU, Uppsala).

### 2.3.3 Markfuktighet och temperatur

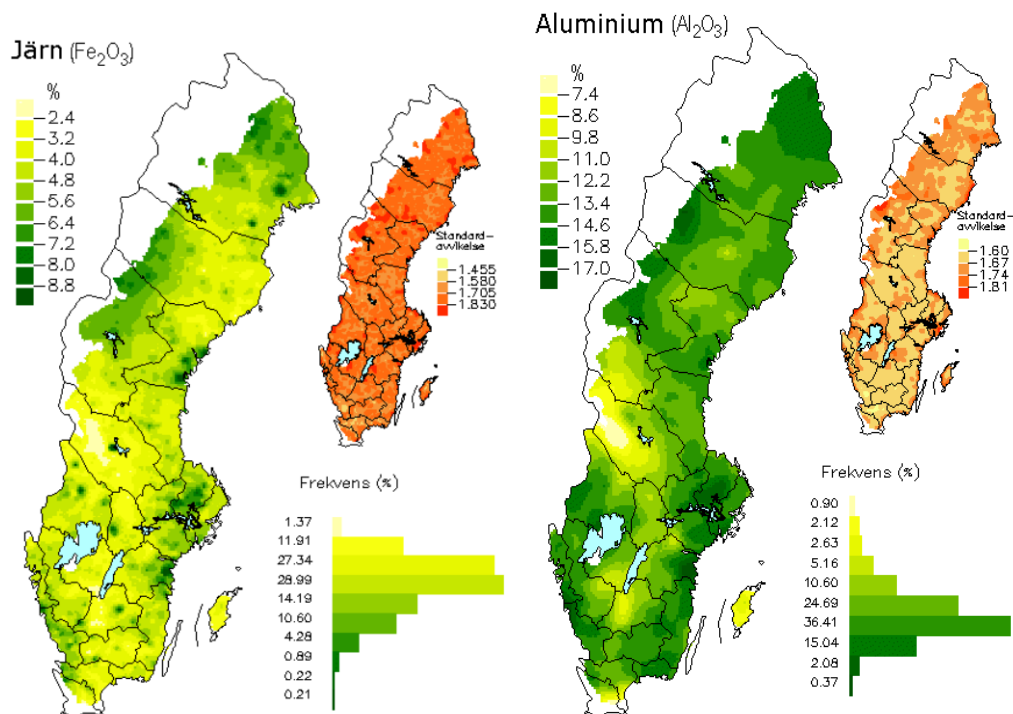
Borets tillgänglighet minskar generellt med minskat markvatteninnehåll. Anledningen till detta är inte fullständigt utredd men det kan bero på att träden måste hämta vatten från större djup under torra förhållanden, där mängden tillgängligt bor är lägre än i jordlager närmare ytan. En annan bidragande orsak kan vara att diffusionen av bor minskar vid lägre vattenhalt. Bor adsorptionen ökar även med ökad temperatur. Om denna ökning beror av den ökade temperaturen eller om det är en effekt av att fuktigheten minskar är inte klarlagt (Goldberg 1997).

## 2.4 Boradsorptionsstyr i jord

Markens förmåga till boradsorption är beroende av markens fysiologiska och kemiska uppbyggnad. Sammansättningen ger olika potential att adsorbera bor vid olika pH-värden. Nedan följer en beskrivning av några av dessa beståndsdelar (Goldberg 1997).

### 2.4.1 Aluminium- och järnoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ och $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Aluminium- och järnoxid spelar en viktig roll för B-adsorptionsbeteendet i marken. Bor adsorberas på aluminium- och järnoxider genom ligandbindning med reaktiva hydroxylgrupper på både kristallina och amorfa oxidtyper. B-adsorptionen per gram är högre för aluminium- än för järnoxider. Detta beror på att aluminiumoxiden har en större yta. Adsorptionen ökar med ökande pH och uppnår adsorptionsmaximum vid pH 6-8 för aluminiumoxid samt pH 7-9 för järnoxid. (Goldberg 1997). Figur 5 nedan visar en karta över skogsmarkens medelvärden för halterna av aluminium- och järnoxid.

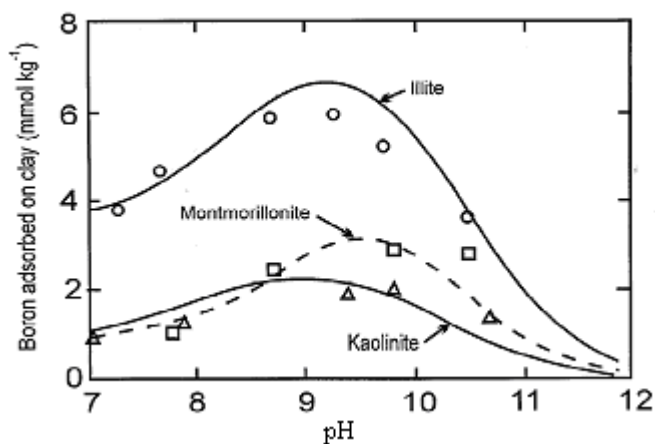


**Figur 5.** Skogsmarkens medelhalter av järn- och aluminiumoxid på 50 cm djup. (Markinfo, SLU, Uppsala).  
**Figure 5.** Mean value of iron- aluminum oxide in forestland at a depth of 50 cm (Markinfo, SLU, Uppsala).

### 2.4.2 Lermineral

Lermineral utgör viktiga adsorptionsytor för bor i marken. Adsorptionen ökar med ökande pH i markvätskan och adsorptionsmaximum inträffar mellan pH 8-10. Adsorptionen per gram skiljer sig åt mellan olika lermineral. Adsorptionsreaktionen sker snabbt med en efterföljande, långsam fixeringsreaktion. Kaolinit har lägre adsorption än montmorillonit, som i sin tur har lägre adsorption än illite, som har den högsta adsorptionen. (Goldberg 1997). Figur 6 nedan beskriver lermineralens adsorption av bor vid olika pH.



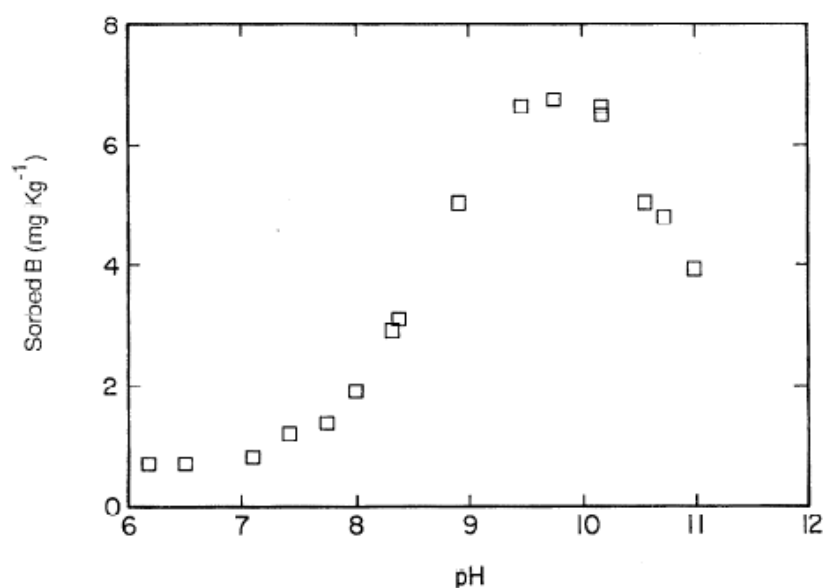


**Figure 6.** Bor adsorption på lermineral som en funktion av pH (Goldberg 1997).

*Figure 6.* Boron adsorption on clay minerals as a function of pH (Goldberg 1997).

### 2.4.3 Kalciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ )

Då kalk tillförs marken ökar B-fixeringen eftersom markvätskans pH-värde ökar. Förutom effekten av ökande pH, adsorberas bor till ytan på kalkrik jord. B-adsorptionen ökar med ökande pH från 6-9 (Goldberg 1997). Figur 7 nedan beskriver B-adsorptionen på kalcit som en funktion av pH.



**Figure 7.** B-adsorptionen på en referenskalcit som en funktion av pH (Goldberg 1997).

*Figure 7.* Boron adsorption on a reference calcite as a function of pH (Goldberg 1997).

### 2.4.4 Organisktmaterial

I förhållande till dess vikt adsorberar jord med organisktmaterial mer bor än motsvarande vikt av mineraljord. Detta medför att adsorbningen av bor i mineraljord ökar med ett ökat inslag av

organisktmaterial. Adsorptionen till humussyra i marken ökade med ökad pH och uppnådde adsorptionsmaximum nära pH 9 (Goldberg 1997).

## **2.5 Borets funktion i barrträd**

Borets funktion i växter är inte fullständigt utrett. Träd med borbrist kan se opåverkade ut året före symptom uppträder för att plötsligt uppvisa tydliga symptom. Anledningen till bristsymptomen kan troligen relateras till missbildningar i den strukturella utvecklingen, då borets huvudsakliga roll i växer anses vara i utvecklingen och underhållandet av cellväggar. Träd med borbrist som studerats i mikroskop före synliga symptom uppkommit, visar onormala strukturer i barren. Exempel på detta är tunnväggiga sklerenkymceller och håligheter i centralcylindern. Det finns många kända skadliga effekter av borbrist, men det är trots detta inte känt om bor har andra primära funktioner än cellväggsbyggnad (Sutinen m.fl. 2007). En teori är att borbrist medför att växthormon som främjar förlängning av stammar och rötter blir hämmad, men bevisen för detta är bristfälliga (Stone 1990).

Borbrist hämmar inte enbart tillväxten ovan mark, för många växter är rötterna den del av växten som är mest känslig för borbrist. Försök på gran (*Picea abies*) har visat att bildningen av rotspetsar och mykorrhiza minskade även om borhalten i barren var 16-17 mg/kg (Lehto m.fl. 2004).

Tidigare ansågs att bor var i stort sett orörligt i växter och ackumulerades i äldre växtdelar. Forskning har dock visat att både gran och tall kan retranslokera bor i små men signifikanta mängder. Detta har stor betydelse för barrträd som behåller sina barr flera år. Om retranslokation inte varit möjlig hade stora mängder växttillgängligt bor bundits i trädens barr under långa perioder (Lehto 2000). Men som tabell 1 nedan visar, så är mängden bor som retranslokeras liten, i jämförelse med exempelvis kväve. Trädens borbehov uppfylls till allra största del av upptag från marken. Tabell 1 nedan visar också att barrförna tillför betydande mängder bor tillbaka till marken.

**Tabell 1.** Mängden bor ( $\text{mg}/\text{m}^2$ , år) som krävs för den årliga biomassaproduktionen genom upptag från marken, retranslokation och återförning till marken via barrfällning i tallbestånd. (-) betyder att ingen retranslokation uppmätts (Helmisaari 1995).

**Table 1.** Nutrient amounts ( $\text{mg}/\text{m}^2$ , year) required for annual biomass production, taken up from soil, retranslocated and returned in litter fall in *Pinus sylvestris* stands. (-) indicate no retranslocation (Helmisaari 1995).

Bestånd	Process	Borflöde, $\text{mg m}^{-2} \text{år}^{-1}$
Plantskog	Fältvegetationens biomassa produktion	0,2
	Trädens biomassa produktion	1,5
	Trädens upptag från marken	1,4
	Retranslokation i träden	0,1
	Barrförna ovan jord	0,7
Ungskog	Fältvegetationens biomassa produktion	0,3
	Trädens biomassa produktion	3,6
	Trädens upptag från marken	3,6
	Retranslokation i träden	-
	Barrförna ovan jord	1,4
Äldre skog	Fältvegetationens biomassa produktion	2,7
	Trädens biomassa produktion	4,5
	Trädens upptag från marken	3,7
	Retranslokation i träden	0,8
	Barrförna ovan jord	2,3

### 2.5.1 Synliga bristsymptom

Störning av apikal dominans, döda eller döende toppskott, skador på utväxande knoppar, små och deformerade toppskott och rikligt kådflöde är exempel på bristsymptom som träd med borbrist kan uppvisa. Det första synliga tecknet på borbrist är ofta deformerade barr (Stone 1990). Trots stora förluster av vitalitet behåller träden förmågan att återhämta sig under en tid. Om förhållandena ändras och tillgången på bor ökar kan träden återhämta sig till normal tillväxt (Brække 1983). Där återhämtning uppstått syns spår i form av förgreningar, flerstammighet och grova grenar (Stone 1990). Skador på utväxande knoppar kan ge en irreversibel skada som leder till buskig tillväxt. Förlust av apikal dominans är inte nödvändigtvis ett symptom på borbrist, det kan också orsakas av magnesium (Mg)- och kalcium (Ca)-brist samt av svampsjukdomar (Sutinen m.fl. 2007).

### 2.5.2 Konsekvenser av borbrist

Borbrist kan leda till svåra skador. Nedan följer sex exempel på vilka konsekvenser borbrist kan leda till enligt Stone (1990):

1. Hämmar tillväxten för rötter och skott, även då synliga symptom saknas
2. Skador på knoppar och vissnade skott sänker tillväxten. Problem kan också uppstå vid anläggning av nya bestånd, speciellt då plantorna är utsatta för vegetationskonkurrens och en snabb tillväxt är en förutsättning för ett lyckat resultat. Skadade knoppar och toppskott leder till att grenarna närmast under skadan blir deformerade och träden blir flerstammiga. Även om träden återhämtar sig kvarstår problemet med deformerade stammar. Detta medför en kvalitetsförlust som ger betydligt större ekonomiska konsekvenser än förlusterna i volymtillväxt.
3. Vid etablering av planteringar på jordar som kräver gödsling med makronäringsämnen kan toppskotten vissna om inte bor tillförs. Det anses troligt att bestånd där gödslingseffekten uteblir trots att behov har konstaterats, i vissa fall beror på smärre borbrist utan synliga symptom.
4. Tall och gran med borbrist eller marginella brister har skadats av sommarfrost och vinterkyla. Om detta beror av brist på härdning eller om symtomen blir synliga tidigare på grund av kyla är inte klarlagt.
5. Träd med borbrist visar i större utsträckning symptom på torkstress. På samma sätt som med frostskaador är det inte klarlagt om träden får en högre känslighet mot torka eller om symptomen för borbrist blir synliga tidigare på grund av torkstress. En tänkbar förklaring kan vara att skadade vaskulära system inte klarar av vattenförsörjningen till nya skott under perioder då hög transpiration krävs. Detta oberoende av om rötterna har tillfredställande tillgång till vatten. En annan tänkbar förklaring kan vara att, när det översta jordlagret torkar minskar rötternas möjlighet att ta upp tillräckligt med bor för att försörja en snabb tillväxt av skotten.
6. Borbrist påverkar blomning och fruktbärande negativt för många arter. Vid skador på apikala knoppar hos *Pinus radiata* har minskad kottproduktion och skadade kottar observerats.

### 2.5.3 Nivåer för brist, toxicitet och tillfredställande nivåer

Den kritiska gränsen för hur hög borkkoncentrationen i barren bör vara för att inte bristsymptom skall uppstå, anses ligga på cirka 5 mg B/kg. Analyser av individuella träd har visat att vissnade toppskott är vanligt förekommande hos träd med borkkoncentrationer under denna nivå. Andra undersökningar har visat att bristsymptom uppstår när koncentrationen var lägre än 3-5 mg B/kg. (Lehto & Mätkönen 1994). Enligt Nihlgård m.fl. (1995) är bristnivån för gran och tall 5-10 mg B/kg. Vilken nivå som anses önskvärd skiljer sig åt i litteraturen. Enligt Jukka ligger den önskvärda nivån mellan 10-25 mg B/kg medan Nihlgård m.fl. anser att nivån bör ligga mellan

15-30 mg B/kg (Johansson 2002 och Nihlgård m.fl. 1995). Även gränsen för toxiska nivåer skiljer sig åt i litteraturen. Nihlgård m.fl. (1995) anser att gränsen för skadliga halter ligger över 100 mg B/kg. Stone (1990) anser att skador på tallens toppskott uppträder vid halter över 53 mg B/kg och att barrförluster uppstår vid halter över 110 mg B/kg.

Träd som utvecklat skador på grund av borbrist lider av allvarligare störningar än träd som har skador uppkomna på grund av måttligt boröverskott. Skadorna som uppkommer vid borbrist leder till att träden blir deformerade och detta kan leda till ett sänkt virkesvärde. Vid måttligt boröverskott uppstår skador på barren som kan ge en tillväxtsänkning men träden blir inte deformerade (Aronsson 1984). Skador på grund av toxiska nivåer är nästan undantagslöst en följd av att bor tillförts skogsmarken (Stone 1990).

#### **2.5.4 Metoder för mätning av bortillgången**

Som beskrivits i avsnittet Allmänt om bor, kan växter endast tillgodogöra sig fritt bor i markvätskan. Detta medför svårigheter när tillgången på tillgängligt bor ska bedömas utifrån jordprover. På grund av faktorer som torka och mikrobiellaktivitet kan bor i jorden bli mer eller mindre tillgängligt. Jordanalyser av bor har därför begränsat värde då riskerna för borbrist ska bedömas (Brække 1983). Barranalyser är en bättre indikator för att bedöma riskerna för borbrist. Begränsningarna av denna metod kan vara svåra att upptäcka och skapa förvirring. Vid låga borkoncentrationer kan träd utan synliga skador uppvisa lägre koncentrationer än träd med synliga skador. Detsamma gäller vid koncentrationer nära toxiska nivåer (Stone 1990).

#### **2.5.5 Genotypisk och artberoende**

Olika individer i ett bestånd påverkas olika av borbrist. Vissa träd kan vara opåverkade medan trädet bredvid kan ha svåra tillväxtstörningar. Hur väl en växt klarar kortare eller längre tider av låga borkoncentrationer är både genotypiskt och artberoende (Rerkasem & Jamjod 1997). Arter och genotyper som växer i kustnära regioner, där det atmosfäriska nedfallet av bor är högt är känsligare mot borbrist än de som växer i inlands områden. Det samma gäller för provenienser av tall som växer i södra delen av Sverige (Stone 1990). Försök på borfattiga myrmarker i Norge, med både tall och gran har visat att tall vanligtvis har en högre borkoncentration i fjolårsbarren än gran (Brække 1983).

## **2.6 Rapporter om borbrist**

I detta avsnitt ges en översiktlig bild av gödslingsförsök där borbrist konstaterats.

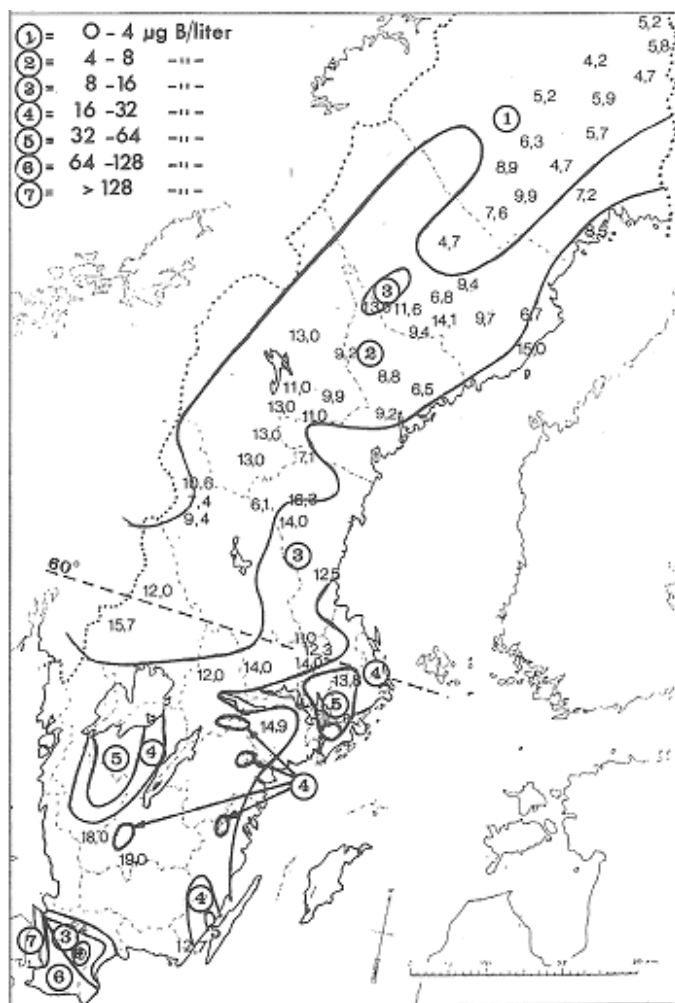
### **2.6.1 Borbristsskador efter upprepad kvävegödsling på fastmark (1982)**

Möller (1982) har sammanställt resultat från gödslingsförsök med konstaterad borbrist från slutet av 60-talet till början av 80-talet. Första gången tillväxtstörningar konstaterades var hösten 1968 och våren 1969. Gödslingsförsöken var anlagda 1959 av dåvarande Skogshögskolan, i Dalarna och Piteälvensdalgång. Träden hade gödslats med 60 kg N/ha vartannat år sedan försöket anlades. Skadorna var mest framträdande i de parceller som både kalkats och kvävegödslats.

Några år senare började liknande skador att visa sig på andra gödslingsförsök i Gästrikland och Västerbotten. I likhet med tidigare försök var skadorna mest framträdande där NPK och kalk tillförts. Senare undersökningar visade att träden led av borbrist. Gemensamt för alla försök där tillväxtstörningar uppkommit fram till början av 1970-talet, var att samtliga försök gödslats upprepade gånger och att kvävegivorna var betydligt större än den praktiskt tillämpade 150 kg N/ha. Strax före mitten av 1970-talet genomfördes omgödslingar på Skogsförbättringens tillämpade försök efter en första reaktionstid på 5-6 år. Inom ett fåtal år observerades enstaka tillväxtstörningar. Utmärkande för dessa tillväxtstörningar var att de observerades i norra Sverige och att bestånden hade gödslats för andra gången.

För att bekräfta sambandet mellan observerade skador och otillfredsställande bortillgång efter omgödsling med enbart kväve, genomfördes en pilotstudie vintern 1979-80. Barrprover samlades in på ett stort antal försök med omgödsling. Kravet på bestånden var att omgödsling skulle ha skett minst tre vegetationsperioder tidigare. Resultatet av denna studie visade att borhalterna i Norrland var relativt låga (7-10 ppm) och att borhalterna i Mellansverige var betydligt högre (14-16 ppm). I de flesta av försöken innebar en omgödsling med enbart kväve en sänkning av borhalten i årsbarren. Trots detta var det endast i två fall som man såg tecken på tillväxtstörningar och i båda fallen var det endast på ett fåtal träd. Ett av bestånden låg i Moskosel.

Under vintern 1980/81 insamlades ett stort antal barrprover från kontrolltytor eller ogödslade bestånd. Proverna var spridda främst över Norrland och Mellansverige. I övriga Sverige togs enstaka prover. Resultatet av provtagningen jämfördes med kartan för borzoner som tagits fram av Ahl och Jönsson (1972). Jämförelsen visar en förhållandevis god överensstämmelse mellan borhalten i barren och de borzoner som Ahl och Jönsson föreslagit (Möller 1982). Resultatet av denna jämförelse visas i figur 8 nedan. En mer utförlig beskrivning av studien Ahl och Jönsson (1972) återfinns i avsnitt Allmänt om bor ovan.



**Figur 8.** Borhalter i barr från olika platser i Sverige samt borzoner för sötvatten enligt Ahl och Jönsson (Möller 1982).

**Figure 8.** Boron concentrations in needles from different places in Sweden and boron zones for freshwater as found by Ahl and Jönsson (Möller 1982).

### 2.6.2 Förekomst av tillväxtstörningar i norskt och svenskt skogsbruk (1983)

Tillväxtstörningar på skogsplanterad myrmark i Norge observerades redan på 1950-talet. Senare undersökningar visade att skadorna berodde på borbrist. Problem uppstod frekvent i hela Norge förutom en 20-60 km bred zon närmast kusten. Dränering och gödsling med fosfor och kalium samt kväve, fosfor och kalium, på planterad myrmark inducerade borbristen.

I Sverige rapporterades borbrist på unga tallbestånd efter intensiva kvävegödslingsprogram med ett års intervall. Då även kalkning genomfördes ökade tillväxtstörningarna. Efter de torra åren 1975-76 observerades omfattande toppdöd på granar i Svealand och Götaland. Det fastslogs att problemet berodde på de förgående årens torka, men om problemen hade något samband med eventuella brister på makro- eller mikronäringsämnen utreddes aldrig (Brække 1983).

### 2.6.3 Fördelning och rörlighet för bor i skogsekosystem (1983)

Wikner beskriver ett gödslingförsök i Gimo 110 km norr om Stockholm. Barr analyser visar att borkoncentrationen i barren minskar med ökad tillförsel av kväve. Kvävegivorna varierade mellan 120-600 kg N/ha. Figur 9 nedan visar borkoncentrationer i ettåriga granbarr. Barrprover är insamlade från medelåldersbestånd på moränjord. Någon information om bestånden där proverna insamlats är gödslade eller inte finns inte beskrivet i rapporten (Wikner 1984).

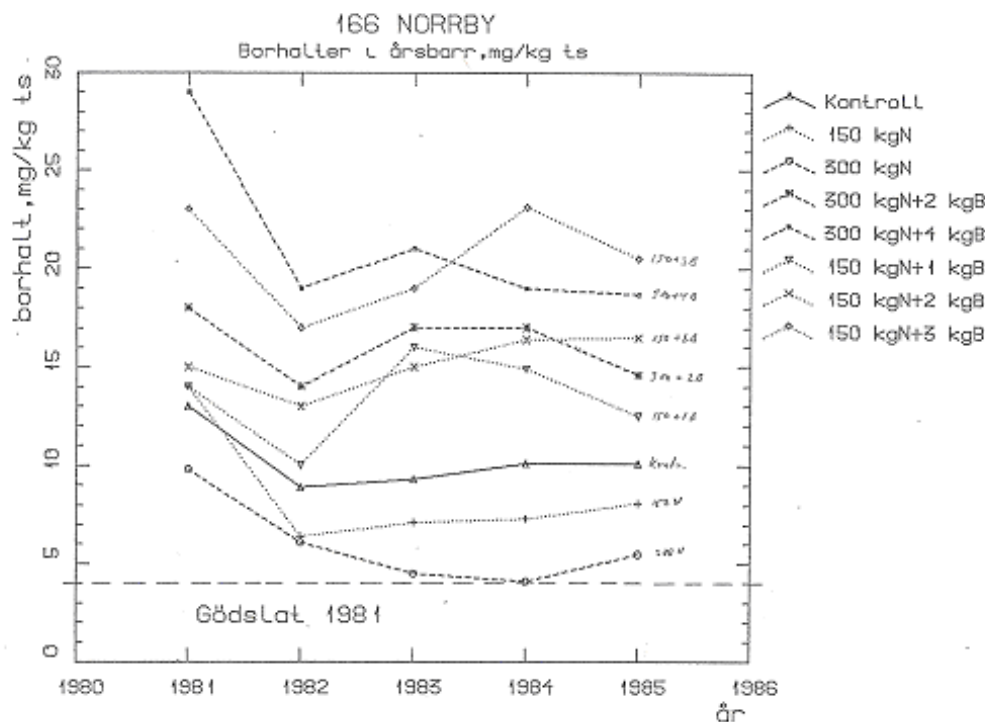


**Figur 9.** Medelkoncentrationen av bor i ettåriga granbarr från medelålders bestånd på moränjord (Wikner 1983).  
**Figure 9.** The mean boron concentration in one year old spruce needles from mature stands on moraine soils (Wikner 1983).



## 2.6.4 Opublicerade försök

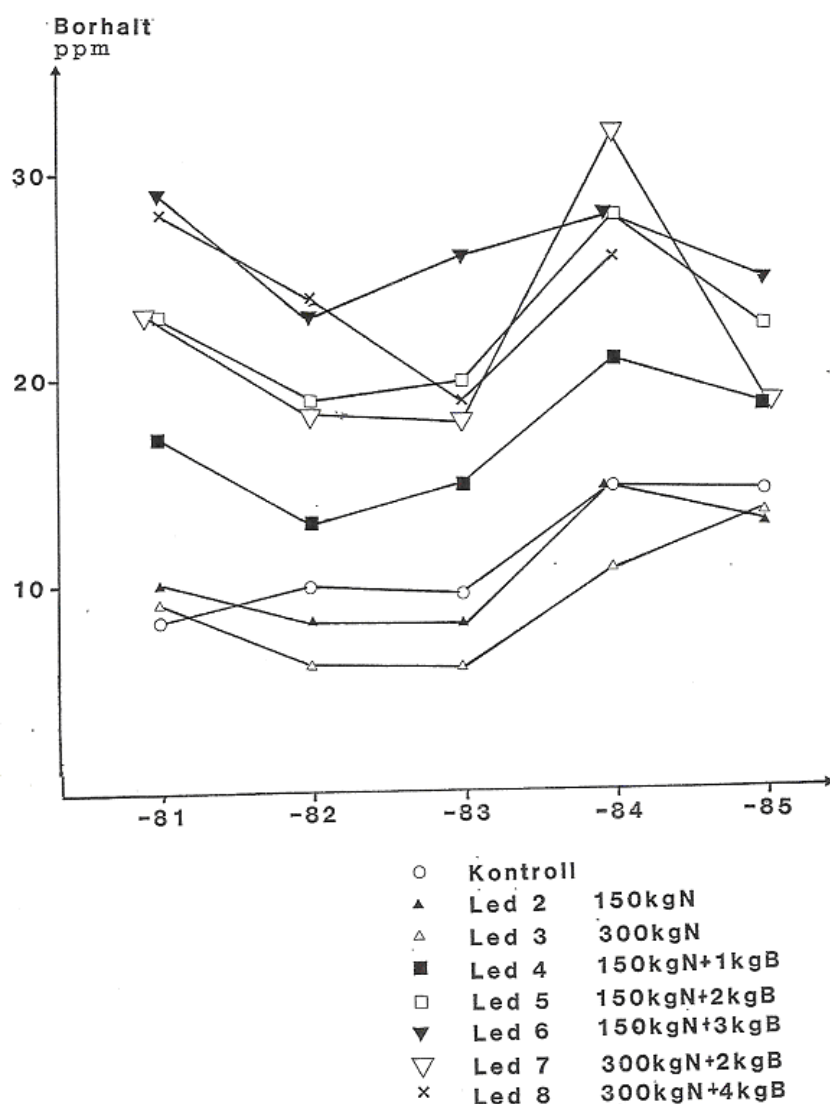
Folke Pettersson presenterade under ett föredrag på SCA:s huvudkontor i Sundsvall, ett flertal opublicerade försök där skillnaderna i grundytetillväxt mellan olika gödslingsgivor och borhaltens förändring i samband med gödsling redovisades. Nedan följer några exempel på resultaten av dessa försök.



**Figur 10.** Försök 166 Norrby, borhalt i årsbarr efter gödsling med olika kvävegivor och borgivor (Pettersson opubl. mat.).

**Figure 10.** Survey 166 Norrby, boron concentration in year needles after fertilization with different amounts of nitrogen and boron (Pettersson unpubl. mat.).

Institutet för skogsförbättrings, försök 166 Norrby var ett bestånd med 97 års ålder. Jordarten var grovt sandig morän. Beståndet gödslades första gången 1975 och andra gången 1981. Som figur 10 visar har borhalten i årsbarren, året efter gödsling sänkts vid samtliga gödslingsbehandlingar. För den borfria gödslingsbehandlingen med givan 150 kg N/ha har borhalten nått sin lägsta nivå ett år efter gödsling för att sedan öka. Vid givan 300 kg N/ha med borfritt gödselmedel har borhalten nått sin lägsta nivå år tre efter gödsling, för att sedan öka vid den sista provtagningen. Det har inte observerats några borbristskador efter gödsling på ytorna utan bor (Pettersson opubl. mat.).



**Figur 11.** Försök 167 Överkalix, borhalt i årsbarr efter gödsling med olika kvävegivor och borgivor (Pettersson opubl. mat.).

**Figure 11.** Survey 167 Överkalix, boron concentration in, year needles after fertilization with different amounts of nitrogen and boron (Pettersson unpubl. mat.).

Institutet för skogsförbättrings, försök 167 Överkalix var ett bestånd med 109 års ålder, jordarten var sandig moig morän. Försöket gödslades första gången 1970 och andra gången 1976. Borhalten i årsbarrarna har sjunkit efter gödsling med borfritt gödselmedel men har efter tre år högre halter än de ursprungliga, för både gödselgivan 150 och 300 kg N/ha. Det har inte observerats några borbristskador efter gödsling på ytorna utan bor (Pettersson opubl. mat.). Figur 11 visar borhalten efter den senaste gödslingen med olika mängder kväve och bor.

För båda försöken ovan förväntas borhalten stabiliseras vid en nivå nära den före gödsling efter att gödslingseffekten avtagit (Pettersson muntl. komm.).

Försök 29 Tårarjaur var ett bestånd med jordarten sandig morän, beläget 400 m över havet och med ståndortsindex T17. Försöksytorna gödslades första gången 1969 och har sedan gödslats ytterligare två gånger med sex mellanrum. Gödselgivan var 150 eller 250 kg N/ha och vid sista gödslingen tillfördes även bor. Omfattande borbristskador på de ytor som gödslats med 250 kg N/ha. Skador även på ytorna som gödslats med 150 kg N/ha men i betydligt mindre omfattning. Trots skadorna var de gödslade ytornas grundytetillväxt högre än den ogödslade kontrollen vid samtliga mätningar fram till sista mätningen 1985. (Petersson opubl. mat.). Detta bestånd är kanske det tydligaste exemplet på borbristskador i hela försöksverksamheten och anses ligga på gränsen för när ett bestånd är ekonomiskt försvarbara att gödsla med hänsyn till beståndsegenskaper (Pettersson muntl. komm.). I bilaga 7 visas diagram över grundytetillväxten i absoluta och relativa tal vid olika kväve givor, för block 1 och 2.

I försök 25 Gällivare var block 1 ett bestånd på frisk mark, ståndortsindex T16 och 4 cm humuslager. Block två var placerat på torr mark med ståndortsindex T16 och 2 cm humuslager. Båda blocken gödslades med samma giva och intervall som försök 29 Tårarjaur beskrivet ovan. Block 1 visade inga synliga tecken på borbrist. I block 2 fanns synliga tecken på borbrist framför allt på ytorna som gödslats med 250 kg N/ha. På ytorna som gödslats med 150 kg N/ha hade något enstaka träd synliga bristsymptom. Mätningar av grundytetillväxten visar att samtliga gödslingsbehandlingar medförde en högre grundytetillväxt jämfört med den ogödslade kontrollen vid samtliga mätningar fram till de sista mätningarna 1987 och 1988 (Petersson opubl. mat.). I bilaga 9 och 10 visas grundytetillväxten för block ett och två.

## **3 Material och metoder**

### **3.1 Bestånden**

Bestånden har valts ut av SCA skog från beståndsregistret i Norrbotten och Medelpad. Bestånden som valdes ut var planerade för gödsling under sommaren 2009. För att få ett statistiskt underlag har trakterna valts ut efter kriterierna nedan:

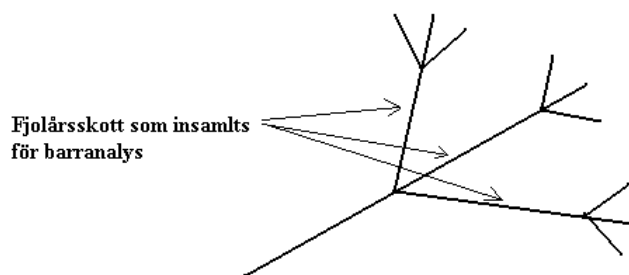
- 1) Tall, ogödslad tidigare
- 2) Tall, gödslad en gång tidigare med kväve och bor
- 3) Tall, gödslad två gånger tidigare med kväve och bor
- 4) Gran, ogödslad tidigare
- 5) Gran, gödslad en gång tidigare med kväve och bor
- 6) Gran, gödslad två gånger tidigare med kväve och bor

Bestånden har tilldelats en bokstav och ett nummer, Beståndets nummer beskriver tidigare gödslingsbehandling, exv. A0 ogödslad tidigare, EE1 gödslad en gång tidigare, A2 gödslad två gånger tidigare. Tabell 2 och 3 i Resultat visar en beskrivning av beståndsdata i försöket.

I Norrbotten ingår endast tallbestånd i försöket, då förekomsten av gran är liten och i praktiken ointressant att gödsla. Bestånden gödslades under tiden juli-augusti med ett borfritt skogsgödselmedel som innehöll 27,2 % N, 2,3 % Mg 4,7 % Ca, givan var 150 kg N/ha . Översiktskarta med beståndens placering återfinns i bilaga 1 och 2.

### **3.2 Barrprovsinsamling**

Barrprover har samlats in före gödsling under sommaren 2009 från varje bestånd. Barrprover har även tagits på hösten 2009 för att jämföra analyserna. Tiden mellan gödsling och den andra provtagningen var 8-9 veckor för Medelpad och 10-12 veckor för Norrbotten. Barrproverna har tagits i den övre halvan av trädkronan, där fjolårsskott har samlats in från antingen sidogrenen eller huvudaxeln. Figur 12 nedan visar en schematisk bild på vilka barrproven använts vid barrprovsinsamling.



**Figur 12.** Figuren visar en schematisk bild av vilken del av trädet som kan utnyttjas vid barrprovtagning.

**Figure 12.** The figure is showing a schematic picture of the part of the tree used for needle sampling.

Provträden har valts ut subjektivt med kraven att träden inte ska ha synliga skador och inte vara undertryckta, dvs. oskadade träd tillhörande det härskande eller medhärskande trädskiktet. Fem träd per bestånd har valts ut och ett fjölårsskott per träd har samlats in genom att skotten skjuts ner med hjälp av hagelbössa. Provträden märktes med en snitsel för att återfinnas vid andra provtagningen. De fem fjölårsskotten som insamlats har lagts ihop till ett prov och placerats i en kylväska i fält, för att så fort som möjligt frysas. Proverna har varit frysta fram tills att proverna lämnats in till labbet för analys. Vid andra provomgången insamlades barrprover från träd som uppfyllde kraven för provträd i anslutning till första omgångens provträd. Anledningen till att inte samma provträd användes är att skador kan ha uppkommit vid första provtagningen och därför kunde ge missvisande resultat.

### 3.3 *Barranalys*

Analysen har utförts av ALS laboratory group i Luleå. Fjölårsskotten har torkats vid 105°C enligt SS028113. Barren som användes i analysen torkades vid 50°C och elementhalterna har TS-korrigerats. Upplösning har skett i mikrovågsugn i slutna teflonbehållare med  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ . Analys av kväve utförs av underleverantör enligt metod SS-ISO 13878.

### 3.4 *pH mätning*

Jordprov har insamlats på en plats i varje bestånd i anslutning till ett av provträden. Proverna har tagits cirka tio cm under blekjorden i markprofilens B horisont. Proverna har analyserat enligt instruktionen för Markkemiska analyser inom ståndortskartering metodbeskrivningar, SLU, institutionen för skoglig marklära. Jordproverna torkades i 105°C under 24 timmar. Från det torra jordprovet vägdes två prover från varje bestånd upp med 5 gram mineraljord i varje. Jordproverna placerades i plastburkar med volymen 60 ml. För varje bestånd tillsattes 25 ml 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  till det ena provet och 25 ml avjoniserat vatten till det andra. Proverna skakades kraftigt så att hela jordprovet suspenderades i lösningen. Proverna fick sedan stå över natten och skakades en gång till på morgonen. Proverna fick sedan stå tills lösningen hade klarnat. När lösningen klarnat utfördes mätningarna med en digital pH-mätare.

### 3.5 *Textur*

Mätning av texturen har utförts med hjälp av jordsond och utrullningsprov på samma plats som vid pH-mätningen. Jordens textur har delats in i klasserna, Grov morän, sandig morän, sandig-

moig morän och finjordrik morän. Bedömningen av texturen har gjorts efter definitionen i Hägglund och Lundmark (2005).

### ***3.6 Avstånd till kust***

Avståndet i km fågelvägen från beståndscentrum till kustlinjen, mättes med hjälp av programmet ESRI ArcGIS.

### ***3.7 Övriga faktorer***

Data för faktorerna höjd över havet, temperatursumma och breddgrad har hämtats från SCA:s beståndsregister. Data för boniteten har tagits fram genom att omvandla ståndortsindex från SCA:s beståndsregister till bonitet med hjälp av Skogforsk, Kunskap Direkt.

### ***3.8 Statistik***

För att undersöka om tidigare gödsling påverkade borhalten före gödsling och differensen av borhalten efter och före gödsling utfördes variansanalys (ANOVA, General Linear Model) med hjälp av programmet MINITAB. För att undersöka om det fanns en signifikant skillnad i borhalten före och efter gödsling utfördes ett parat t-test (Paired T-test) i MINITAB. För att utreda om det fanns en korrelation mellan bestånds faktorer och borhalten före och efter gödsling samt differensen mellan dessa genomfördes ett korrelationstest (Correlation) i MINITAB.

## 4 Resultat

### 4.1 Beståndsdata

**Tabell 2.** Beståndsdata för bestånden på Medelpads skogsförvaltning. Siffran i kolumn Bestånd anger tidigare gödslingsbehandling, exv. A0 ogödslad tidigare, EE1 gödslad en gång tidigare och A2 gödslad två gånger tidigare.

**Table 2.** Stand data for stands in Medelpad forest administration. The number in column Bestånd state previous fertilization, for example A0, no previous fertilization, EE1 one previous fertilization and A2 two previous fertilizations.

Beståndsdata Medelpad									
Bestånd	Trädslag	Breddgrad (° n.br.)	h.ö.h (m)	Temp.sum. (dygngrader)	SI (H100)	Bonitet m <sup>3</sup> sk/ha och år	Jordart	Texturkl.	Avst. Kust (km)
A0	TALL	62,8	329	916	T22	4,4	Sandig-moig	SM	57,8
B0	GRAN	62,8	377	877	G20	3,8	Sandig	SA	69,9
C0	GRAN	62,8	399	858	G21	4,0	Moig	FM	67,7
D0	TALL	63,0	307	930	T21	4,0	Moig-lerig	FM	65,2
E0	GRAN	62,7	349	907	G21	4,0	Moig-mjällig	FM	55,3
I0	TALL	62,8	328	917	T22	4,4	Sandig-moig	SM	57,2
EE1	TALL	62,8	410	848	G22	4,3	Sandig-moig	SM	57,2
F1	GRAN	62,8	340	906	T22	4,4	Moig	FM	65,1
I1	GRAN	63,0	403	854	T21	4,0	Sandig-moig	SM	63,6
J1	TALL	62,8	378	874	T21	4,0	Sandig-moig	SM	65,5
K1	GRAN	63,0	403	854	T21	4,0	Moig	FM	63,8
X1	TALL	63,0	332	910	T21	4,0	Sandig-moig	SM	65,9
A2	GRAN	62,7	359	904	G20	3,8	Moig	FM	26,9
D2	GRAN	62,8	315	937	T20	3,7	Sandig-moig	SM	58,8
G2	TALL	62,8	401	858	T21	4,0	Sandig-moig	SM	75,4
H2	TALL	63,0	338	909	T21	4,0	Sandig-moig	SM	74,0
X2	TALL	63,0	332	910	T21	4,0	Sandig-moig	SM	65,9
Medelvärde			359	893		4,0			62,1

**Tabell 3.** Beståndsdata för bestånden på Norrbottens skogsförvaltning. Siffran i kolumn Bestånd anger tidigare gödslingsbehandling, exv. A0 ogödslad tidigare, B1 gödslad en gång tidigare och A2 gödslad två gånger tidigare.  
**Table 3.** Stand data for stands in Norrbotten forest administration. The number in column Bestånd state previous fertilization, for example A0, no previous fertilization, B1 one previous fertilization and A2 two previous fertilizations.

Beståndsdata Norrbotten									
Bestånd	Trädslag	Breddgrad (° n.br.)	h.ö.h (m)	Temp.sum. (dygngrader)	SI (H100)	Bonitet m <sup>3</sup> sk/ha och år	Jordart	Texturkl.	Avst. Kust (km)
A0	TALL	66,3	140	894	T18	3,1	Sandig-moig	SM	65,0
B0	TALL	66,3	172	868	T21	4,0	Sandig-moig	SM	59,1
C0	TALL	66,2	131	904	T21	4,0	Sandig-moig	SM	52,3
D0	TALL	66,2	108	925	T20	3,7	Sandig-moig	SM	52,9
B1	TALL	66,4	219	824	T18	3,1	Sandig-moig	SM	107,5
C1	TALL	66,3	260	795	T19	3,4	Moig	FM	93,8
D1	TALL	66,3	264	794	T18	3,1	Sandig-moig	SM	104,6
A2	TALL	66,3	280	778	T19	3,4	Sandig-moig	SM	93,6
B2	TALL	66,3	257	797	T21	4,0	Moig	FM	93,1
C2	TALL	66,3	255	799	T18	3,1	Sandig-moig	SM	92,1
D2	TALL	66,5	278	763	T18	3,1	Sandig-moig	SM	95,6
E2	TALL	66,4	258	787	T20	3,7	Sandig-moig	SM	94,6
Medelvärde			219	830		3,5			83,7

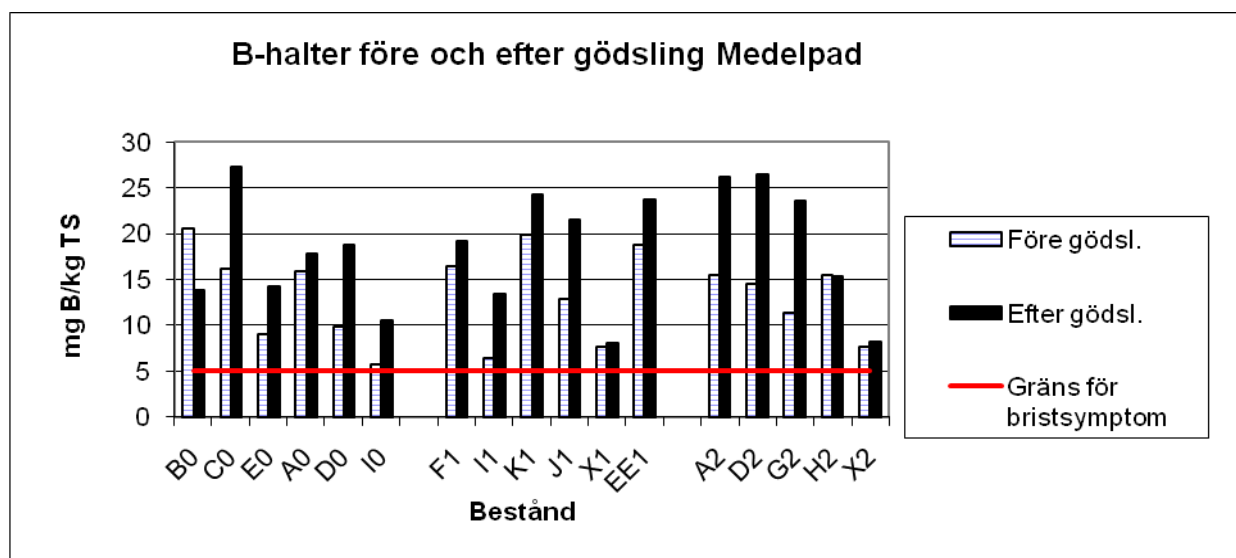
Tabell 2 och 3 visar en samman ställning av beståndsdata som använts i försöket. I bilaga 3 och 4 visas analysresultatet från barrprovtagning och pH mätning. Hur data insamlats finns beskrivet i material och metoder.

## 4.2 Bor- och kvävehalt före och efter gödsling

För att utreda om det fanns en signifikant skillnad mellan B-halt före och efter gödsling samt mellan totala mängden kväve (N-tot) före och efter gödsling, utfördes ett Parat t-test.

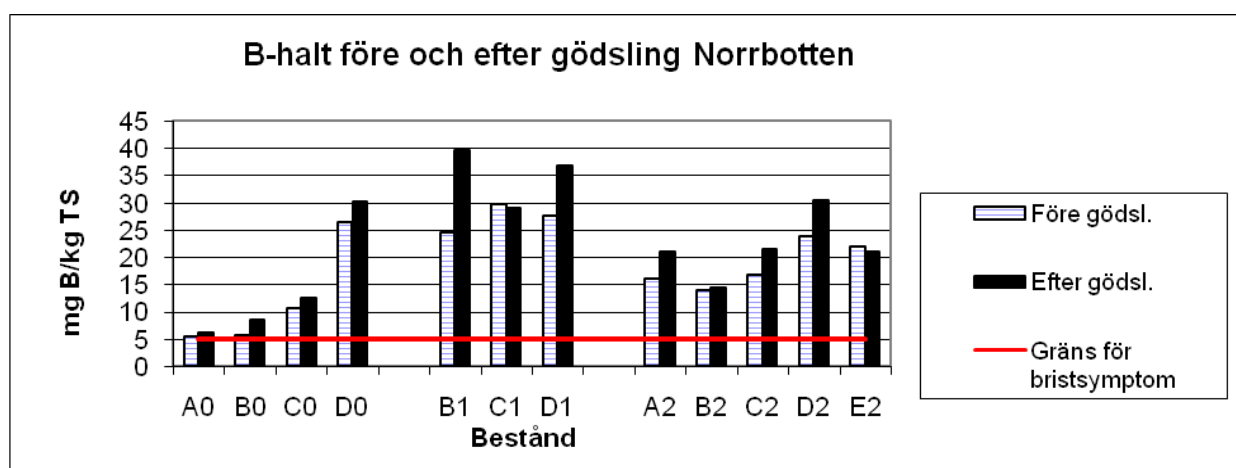
Nollhypotesen för testet är att medelvärdet för skillnaden mellan de parade observationerna, borhalt före och efter gödsling samt N-tot före och efter gödsling, är noll. Ett lågt p-värde tyder på att data är oförenligt med nollhypotesen och att det finns en signifikant skillnad mellan första och andra provtagningen. Alla p-värden var mindre än 0,05 för N-tot och borhalt i både Medelpad och Norrbotten. Detta innebär att vid konfidensintervallet 95 % finns en statistiskt signifikant skillnad för nivåerna av N-tot och borhalt mellan den första och andra provtagningen. Tabell 1 och 2 i bilaga 5 visar resultatet från det parade t-testen B-halt före och efter gödsling. Tabell 3 och 4 i bilaga 5 visar resultatet från det parade t-testen N-tot före och efter gödsling.





**Figur 13.** Borkkoncentrationer i barren före och efter gödsling samt den undre gränsen då borkkoncentration i barren kan leda till bristsymptom (Gräns för bristsymptom) för bestånden i försöksområde Medelpad.

*Figure 13. Boron concentrations in needles before and after fertilization and level when deficiency symptoms may occur (Gräns för bristsymptom) for stands in survey area Medelpad.*

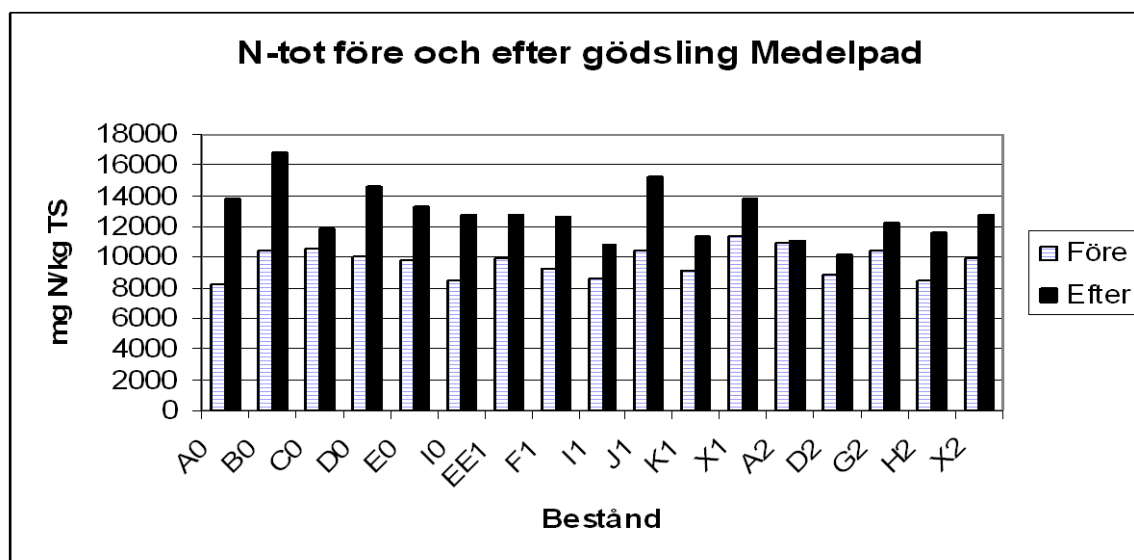


**Figur 14.** Borkkoncentrationer i barren före och efter gödsling samt den undre gränsen då borkkoncentration i barren kan leda till bristsymptom (Gräns för bristsymptom) för bestånden i försöksområde Norrbotten.

*Figure 14. Boron concentrations in needles before and after fertilization and level when deficiency symptoms may occur (Gräns för bristsymptom) for stands in survey area Norrbotten*

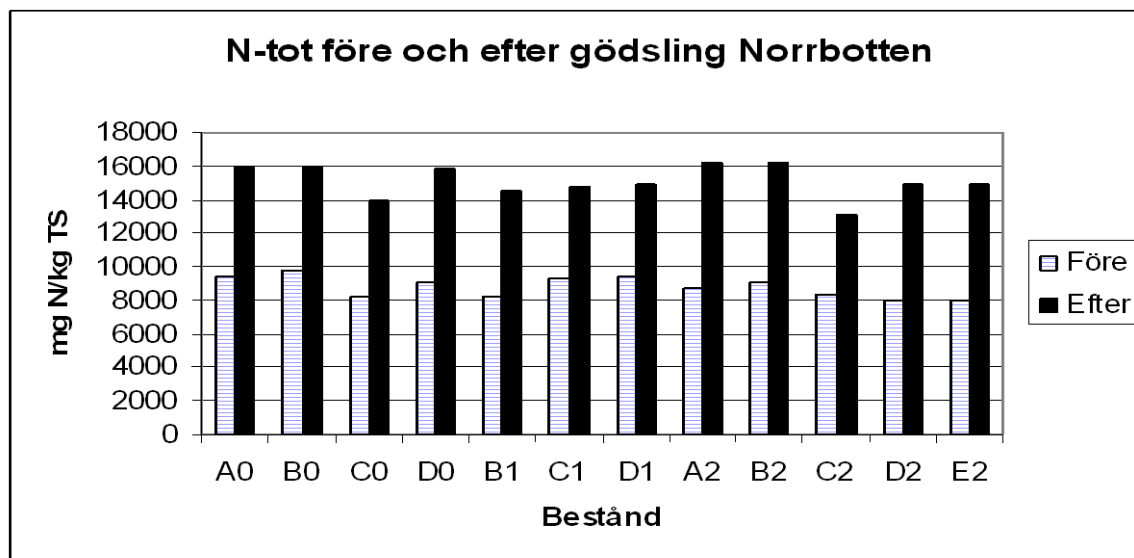
Figur 13 och 14 visar borhalten före och efter gödsling i bestånden för Medelpad respektive Norrbotten. På Medelpadsförvaltning var det bara bestånd I0 som låg nära den nedre gränsen för då brist symptom kan uppkomma, efter gödsling ligger samtliga bestånd med god marginal över denna gräns. Inte heller i Norrbotten ligger något av bestånden under gränsen för då bristsymtom kan uppkomma, men bestånd A0 och B0 ligger nära gränsen vid första provtillfället. Bestånd B0 ligger även vid andra provtillfället nära gränsen. Inga visuella skador på grund av borbrist har upptäckts vid provtagningarna. I försöksområde Medelpad ökade borhalten i 15 av de 17 bestånden. Medelvärde var 5,22 mg B/kg TS högre vid den andra provtagningen. I

försöksområde Norrbotten ökade borhalten i 10 av de 12 bestånden. Medelvärdet var 4,07 mg B/kg TS högre vid den andra provtagningen.



**Figur 15.** Kvävehalten i barren före och efter gödsling för bestånden i försöksområde Medelpad.

*Figure 15. Nitrogen concentrations in needles before and after fertilization for stands in survey area Medelpad.*



**Figur 16.** Kvävehalterna i barren före och efter gödsling för bestånden i försöksområde Norrbotten.

*Figure 16. Nitrogen concentrations in needles before and after fertilization for stands in survey area Norrbotten.*

Figur 15 och 16 visar kvävehalterna före och efter gödsling för Medelpad respektive Norrbotten. Kvävehalten har ökat i samtliga bestånd, medelvärdet för ökningen är mer än dubbelt så stor i Norrbotten (6343 mg/kg TS) jämfört med Medelpad (3102 mg/kg TS).

### 4.3 Variansanalys av tidigare gödslingsbehandlingars påverkan

Variansanalysen jämför variansen för en parameter i bestånden som har mottagit tre olika behandlingar. Vid ett konfidensintervall på 95 % innebär detta att om P-värdet understiger 0,05 finns en statistiskt signifikant skillnad mellan de olika behandlingarnas effekt på parametrarna som undersöks.

**Tabell 4.** Variansanalys av parametrarna borhalt före gödsling, beroende av tidigare gödslingsbehandlingar för bestånden i försöksområde Medelpad och Norrbotten.

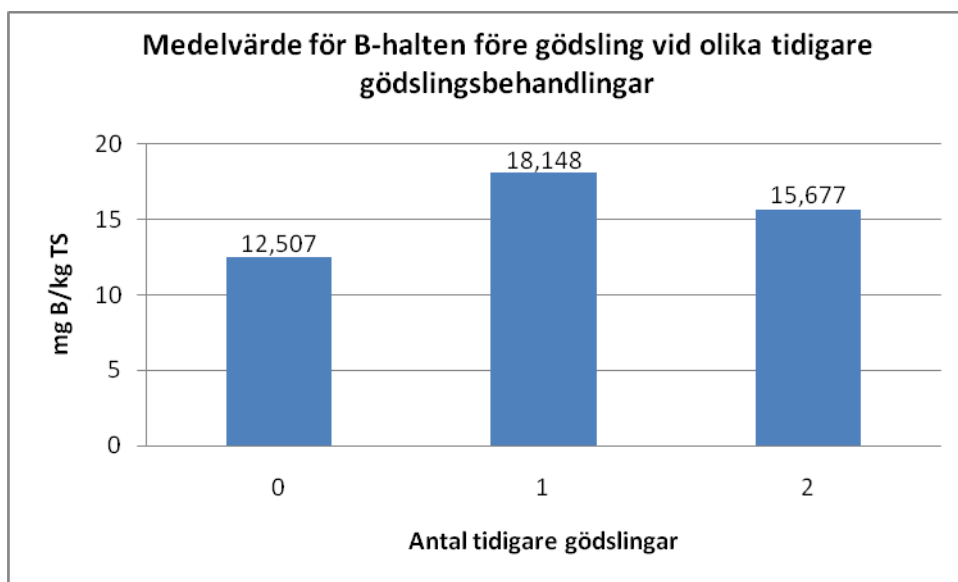
**Table 4.** Analysis of Variance for boron concentration before fertilization depending and previous fertilization for stands in survey area Medelpad and Norrbotten.

Variansanalys mellan B-halt före gödsling och antal tidigare gödslingar, Medelpad och Norrbotten

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Gödsling	2	152,34	152,34	76,17	1,68	0,206
Error	26	1177,30	1177,3	45,28		
Total	28	1329,64				

S = 6,72909 R-Sq = 11,46% R-Sq(adj) = 4,65%

Tabell 4 visar variansanalysen för data från Medelpad och Norrbotten. De höga p-värdena tyder på att det inte fanns en signifikant skillnad mellan olika behandlingar för parametrarna B-halt före gödsling eller B-haltens differens efter och före gödsling.  $R^2$ -värdet är lågt och detta indikerar att modellen bara förklarar 11,46 % av variansen för parametrarna.

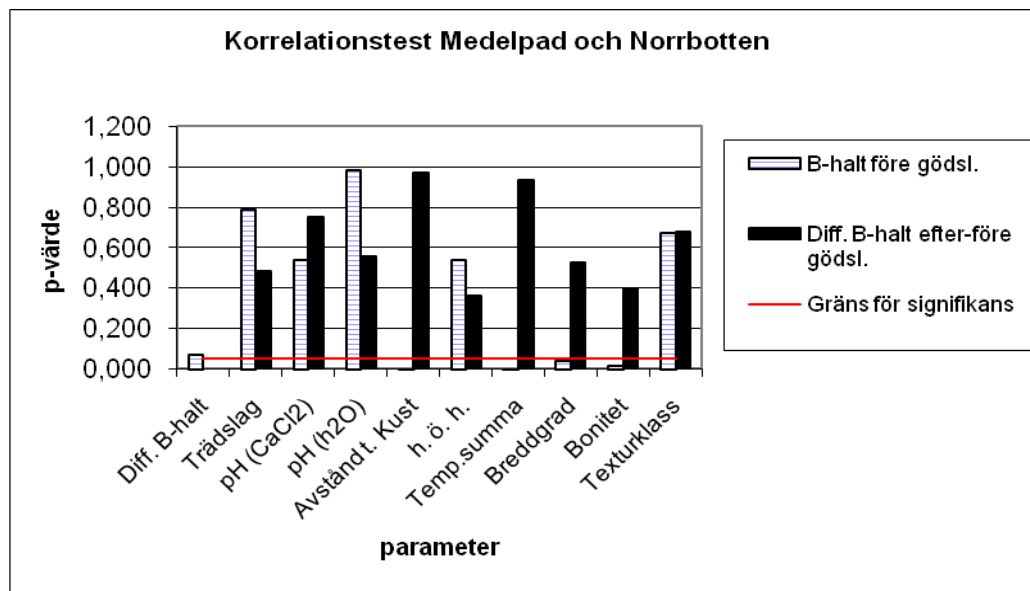


**Figur 17.** Medelvärde av B-halt före gödsling uppdelad på antal tidigare gödslingsbehandlingar för försöksområde Medelpad och Norrbotten.

**Figure 17.** Mean values boron concentration before fertilization divided in number of previous fertilizations in survey area Medelpad and Norrbotten.

Figur 17 visar att B-haltens medelvärde före gödsling är lägre för de bestånd som inte gödslats tidigare, något större för bestånd som gödslats två gånger tidigare och störst för bestånd som gödslats en gång tidigare.

#### 4.4 Korrelationstest



**Figur 18.** Korrelationstest för parametrar i försöksområde Medelpad och Norrbotten.

*Figure 18. Correlation test for parameters in survey area Medelpad and Norrbotten.*

**Tabell 5.** Parametrar med signifikant korrelation med borhalt före gödsling.

*Table 5 Parameters with a significant correlation compared with boron concentration before fertilization.*

Faktorer med signifikant korrelation mot B-halt före gödsling

Faktor	P-värde	Pearson correlation
Avstånd t. Kust	0,005	0,508
Temp.summa	0,004	-0,518
Breddgrad	0,038	0,387
Bonitet	0,012	-0,460

Figur 18 visar korrelationen mellan borhalt före gödsling, differensen mellan borhalt efter och före gödsling och olika faktorer för Medelpad och Norrbotten. För att korrelationen ska anses vara statistiskt signifikant ska P-värdet vara mindre än 0,05. Tabell 5 visar vilka parametrar som har en signifikant korrelation med B-halt före gödsling. Faktorerna avstånd till kust och breddgrad har ett positivt värde på Pearson correlation och detta innebär att borhalten före gödsling ökar när breddgrad och avstånd till kust ökar. Faktorerna temperatursumma och bonitet har ett negativt värde på Pearson correlation och det betyder att när bonitet och temperatursumma ökar minskar borhalten före gödsling. I bilaga 6 finns en tabell över hela korrelationstestet. Tabell 6 visar en jämförelse av medelvärden från data insamlad i Medelpad och Norrbotten.

**Tabell 6.** Jämförelse av medelvärden för data från bestånden i Medelpad och Norrbotten.

**Table 6.** Mean value comparison of data from the stands in Medelpad and Norrbotten.

Jämförelse av medelvärden									
	Breddgr.	h.ö.h	Temp.sum.	Bonitet	Avst. kust	B före gödsl.	N före gödsl.	N efter gödsl.	N Efter-Före
	(° n.br.)	(m)	(dygngrader)	(m³sk/ha, år)	(km)	(mg/kg TS)	(mg/kg TS)	(g/kg TS)	(g/kg TS)
Medelpad	62,9	359	893,2	4,0	62,1	13,1	9703	12,8	3,1
Norrbotten	66,3	219	829,9	3,5	83,7	18,5	8782	15,1	6,3

## 5 Diskussion

### 5.1 Litteraturstudien

Berggrunden i Sverige är generellt borfattig och det bor som finns är till stor del otillgängligt för växterna i mineralet turmalin. Detta medför att tillskottet genom vittring till marken är lågt, undantaget är marina sediment. Tillförseln av bor sker främst genom atmosfäriskdeposition och nedbrytning av organisktmaterial. Depositionsnivåerna skiljer sig åt i olika delar av Sverige. I norra Sverige är depositionen låg, förutom närmast kusten. I södra Sverige är depositionen betydligt högre. I framförallt norra Sverige måste därför trädens behov till stor del täckas av det bor som frigörs när organisktmaterial bryts ned. Kunskapen om hur mycket bor som tillförs marken från organisktmaterial är bristfällig. Troligen tillförs marker med tjockare humustäcke mer bor än marker med tunt humustäcke. Om barren har låga halter av bor leder detta troligen till att barrförnan också får lägre halter. Detta kan leda till att tillförseln av bor till marken blir lägre jämfört med markerna som har träd med höga borhalter i barren.

Vid majoriteten av de försök som studerats i litteraturstudien har borhalten i barren sjunkit efter gödsling. Trots att borhalten sänkts efter gödsling har det i de flesta fallen inte konstaterats några bristsymptom. I de fall som borbrist konstaterats har bestånden gödslats mer än en gång med täta omdrev. Bestånden var med få undantag placerade i Norrlands inland. Mängden kväve som tillförts har också i de flesta fallen varit högre än den praktiskt tillämpade givan 150 kg/ha. I en del fall har bestånden kalkats i samband med gödsling vilket minskar det befintliga boretts tillgänglighet för träden. Att bristsymptom inte uppkommer i större utsträckning tyder på att det bor som tillförs genom deposition och framförallt nedbrytning av organiskt material är tillräckligt för att täcka trädens behov även då beståndet har gödslats tidigare. Tillväxtstörningar i bestånd på fastmark efter första gödslingen anses som obefintlig i Sverige. Tillväxtstörningar efter andra eller tredje gödsling har troligen liten ekonomisk betydelse med hänsyn till kvalitetsförluster då eventuella skador kommer att uppstå vid en trädhöjd där virkeskvaliteten är av begränsad betydelse då virket inte utnyttjas som sågtimmer.

Vid normala gödselgivor är risken för ekonomisk betydande tillväxtstörningar liten på det växande beståndet. Det finns bristande kunskap om hur efterföljande trädgenerationen påverkas av tidigare gödsling utan bor. Om tillväxtstörningar uppstår i ungskog och resulterar i deformerade stammar, kan detta leda till försämrad kvalitet. Försämrad kvalitet kan påverka det ekonomiska utfallet negativt om träden skall användas som sågtimmer. Risken för detta anser jag som liten av främst två orsaker. För det första är beståndets borbehov lägre under ungskogsfasen. För det andra visar undersökningar att barren borhalt återgår till nära de ursprungliga nivåerna efter att gödslingens tillväxteffekt har avtagit.

### 5.2 Fältförsöket

Antalet observationer i försöket är lågt och bestånden ligger relativt klustrade. Detta medför att det statistiska underlaget blir litet och lokala variationer kan ge stort genomslag. Eftersom det statistiska materialet är litet är resultatet från variansanalyserna och korrelationstestet inte tillförlitliga. Modellen för variationsanalyserna förklarar endast 11,46 % av variationerna. Korrelationstestet visar att det finns en signifikant korrelation mellan borhalt före gödsling och fyra olika parametrar. Ett exempel är att Avstånd till kust har en positiv korrelation och detta är

mycket förvånande eftersom tidigare studier visar att korrelationen är negativ. Vid ökat avstånd till kust blir depositionen lägre och bestånden förväntas därför ha lägre borhalt vid ett längre avstånd till kusten. En jämförelse av medelvärdena för Norrbotten och Medelpad visar att korrelationstestet troligen påverkas av att borhalterna före gödsling är högre i Norrbotten. Parametrarna temperatursumman och boniteten är lägre i Norrbotten ger detta en negativ korrelation, avstånd till kust och breddgrad är betydligt högre i Norrbotten och därför blir korrelationen positiv. Jag anser på grund av detta att det inte går att dra några säkra slutsatser utifrån korrelationstestet.

Borhalterna före gödsling visar att tre av tjugonio bestånd ligger nära gränsen då det finns en risk att bristsymptom kan uppstå (5 mg B/kg TS). Under provtagningen har inte några tillväxtstörningar observerats. Eftersom barrproverna för att mäta borhalterna efter gödsling har insamlats samma år som gödslingen utförts är dessa data av begränsat intresse. För att få en uppfattning av hur borhalterna har förändrats efter gödsling måste nya prover insamlas efter förslagsvis tre vegetationssäsonger, då har trädens barmassatillväxt ökat som en följd av gödslingen och beståndets borbehov har ökat.

Kvävehalten i barren har ökat efter gödsling i samtliga bestånd. Ökningen för bestånden i Norrbotten är mer än dubbelt så stor jämfört med bestånden i Medelpad. Detta beror troligen på att kortare tid hade gått mellan gödsling och provtagning i Medelpad.

Jordprov för mätning av pH har bara insamlats på en plats i beståndet och, hur representativt detta prov är för hela beståndet är svårt att svara på. En jämförelse med Markinfo, SLU, Uppsalas karta över pH i markens B-horisont för ägoslaget skogsmark visar inga större avvikelser som kan förklara skillnader i borhalt.

### 5.3 *Slutsats*

Min slutsats är att risken för skador på grund av borbrist är låga på de flesta lokaler i Sverige, om Skogsstyrelsens gödslingsrekommendationer efterlevs. Undantaget är lokaler med tunt humustäcke och låg atmosfärisk deposition, framförallt i norra Norrbotten och andra platser där borhalten i barren generellt är låg. Ahl och Jönsson (1972) har utifrån en studie av bor i färskvatten delat in Sverige i sju olika borzoner. Barranalyser visar att denna indelning i stora drag överensstämmer med borhalter i trädens barr och i förlängningen kan beskriva borttillgången. De barrprov som jag insamlat visar dock att de lokala skillnaderna kan vara stora. Jag anser att barrprovsinsamling i större skala måste utföras, om en tydligare bild ska skapas över borttillgången i olika delar av Sverige.

Det finns risker med att utesluta bor vid skogsgödsling, men så länge tillväxtstörningar inte uppstår då träden är i ungskogsfasen kommer de negativa ekonomiska effekterna att vara av begränsad betydelse. Tillväxtförluster på grund av borbrist kan motverkas genom borgödsling. Skador som uppstår på en trädhöjd som medför skador på framtida timmerutbyte och ger ekonomiskt betydande kvalitetsförluster, ger en irreversibel skada som inte kan åtgärdas med tillförsel av bor.

Att kvantifiera hur mycket tillväxtsänkningarna kostar kan i dagens läge inte göras eftersom kunskapen om boretts påverkan på tillväxten är bristfälliga. Att utföra studier i större skala för att mäta hur tillväxten påverkas av borbrist är svårt då gödslingseffekten kan variera av andra anledningar mellan olika parceller i ett försök.

## 6 Referenser

### Litteratur referenser

- Ahl T. och Jönsson E. 1972. Boron in Swedish and Norweigan freshwater. *Ambio* 1, 2: 66-70.
- Aronsson A 1984. Inverkan av mikronäringsgödsling på barrhalterna i ett ungt tallbestånd. K. Skogs- o. Lantbr. Akad. Tidskr. Suppl. 16: 67-70
- Braekke F.H. 1983. Occurrence of growth disturbance problems in Norwegian and Swedish forestry. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116, 20-25
- Folkesson C. 2007. Marktillstånd och borbrist på åkermark planterad med gran i Västerbottens län. Examensarbete, Institutionen för skogens ekologi och skötsel Sveriges lantbruks universitet, Umeå
- Goldberg S. 1997. Reaction of boron with soils. *Plant and Soil* 193, 35-48
- Hansson A. 1984. Skogsgödsling i Sverige-Historik och dagsläge. K. Skogs- o. Lantbr. Akad. Tidskr. 123: 329-336
- Helmisaari H.S. 1995. Nutrient cycling in *Pinus Sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant and Soil* 168-169, 327-336
- Hägglund B och Lundmark J. E. 2005. Bonitering, Del 1 Definitioner och anvisningar. Skogsstyrelsens förlag. s. 25-27. Jönköping.
- Johansson O. 2002. Har skador på tallkronor något samband med kalkning? Examensarbete, Institutionen för skogsekologi Sveriges lantbruks universitet, Umeå
- Landergen S. 1944. Contribution to the Geochemistry of Boron. Arkiv för kemi, mineralogi och geologi, Band 19 A, N:o 26
- Lehto T. Lavola A. Julkunen-Tiitto R. och Aphalo P. J. 2004. Boron retranslocation in Scots pine and norway spruce, *Tree physiology* 24, 1011-1017
- Lehto T. Kallio E och Aphalo P. J. 2000. Boron Mobility in Two Coniferous Species *Annals of Botany* 86, 547-550
- Lehto T. och Mälkönen E. 1994. Effects of liming and boron fertilization on boron uptake of *Picea abies* *Plant and Soil* 16,,: 55-64
- Möller G. 1982. Borbristsskador efter upprepad kvävegödsling på fastmark. Årsbok Föreningen Skogsträdsförädling [och] Institutet för Skogsförbättring (1982), 47-70.
- Nihlgård B. Aronsson A. och Lesiński J. 1995. Skador på barrträd. Skogsstyrelsens förlag. s. 247. Jönköping.
- Rerkasem B. och Jamjod S. 1997. Genotypic variation in plant response to low boron and implications for plant breeding. *Plant and Soil* 193, 169-180
- Skogsstyrelsen, 2002, Skogsstatistisk Årsbok 2009
- Stone E.L. 1990. Boron deficiency and excess in forest trees: A review. *Forest Ecology and Management* 37, 49-75
- Sutinen S. et.al. 2007. Does timing of boron application affect needle and bud structure in Scots pine and Norway spruce seedlings? *Trees* 21, 661-670
- Wikner B. 1983. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116, 131-141



### **Internetreferenser**

- SLU, institutionen för mark och miljö, Uppsala. Markinfo. Tillgänglig: <http://www.markinfo.slu.se/sve/kem/totkem.html> [2010-01-11]
- SLU, institutionen för skoglig marklära. Markkemiska analyser inom ståndortskartering, metodbeskrivningar Tillgänglig: <http://www-sml.slu.se/sk/analyinf.pdf> [2009-11-30]
- Skogforsk, Kunskap direkt. Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/AllaVerktyg/Bonitet/> [2009-11-30]

### **Personlig kommunikation**

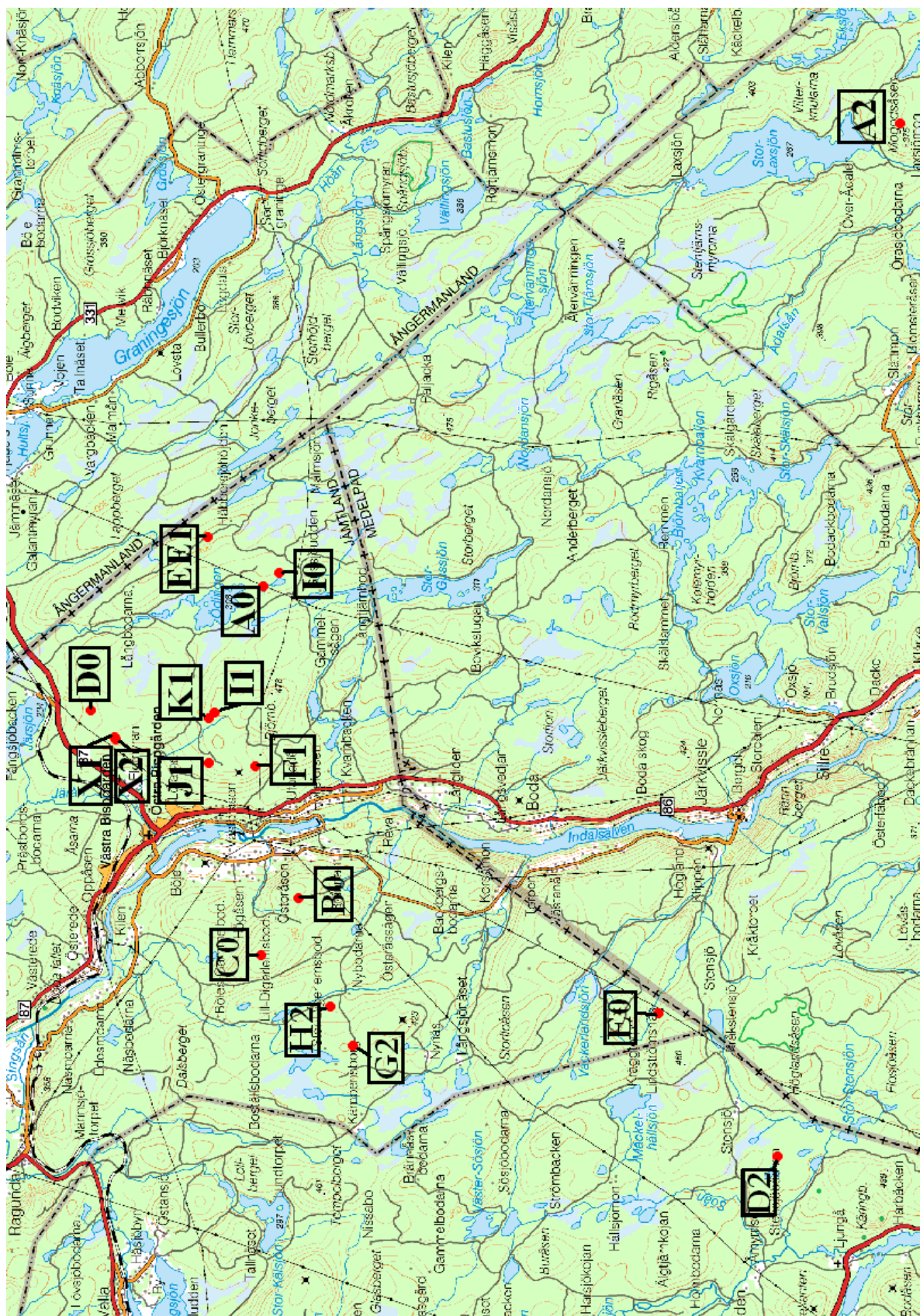
- Lantz, Mats-Åke. 2010. SCA Skog AB, Stab Skogsvård, Fältservicechef
- Lax, Kaj. 2009. Enheten för miljö och geokemi, SGU, Uppsala
- Pettersson, Folke. 2010. Skogsskötsel, Skogforsk, Uppsala

## ***Bilaga 1. Kartor över beståndens placering i Medelpad***



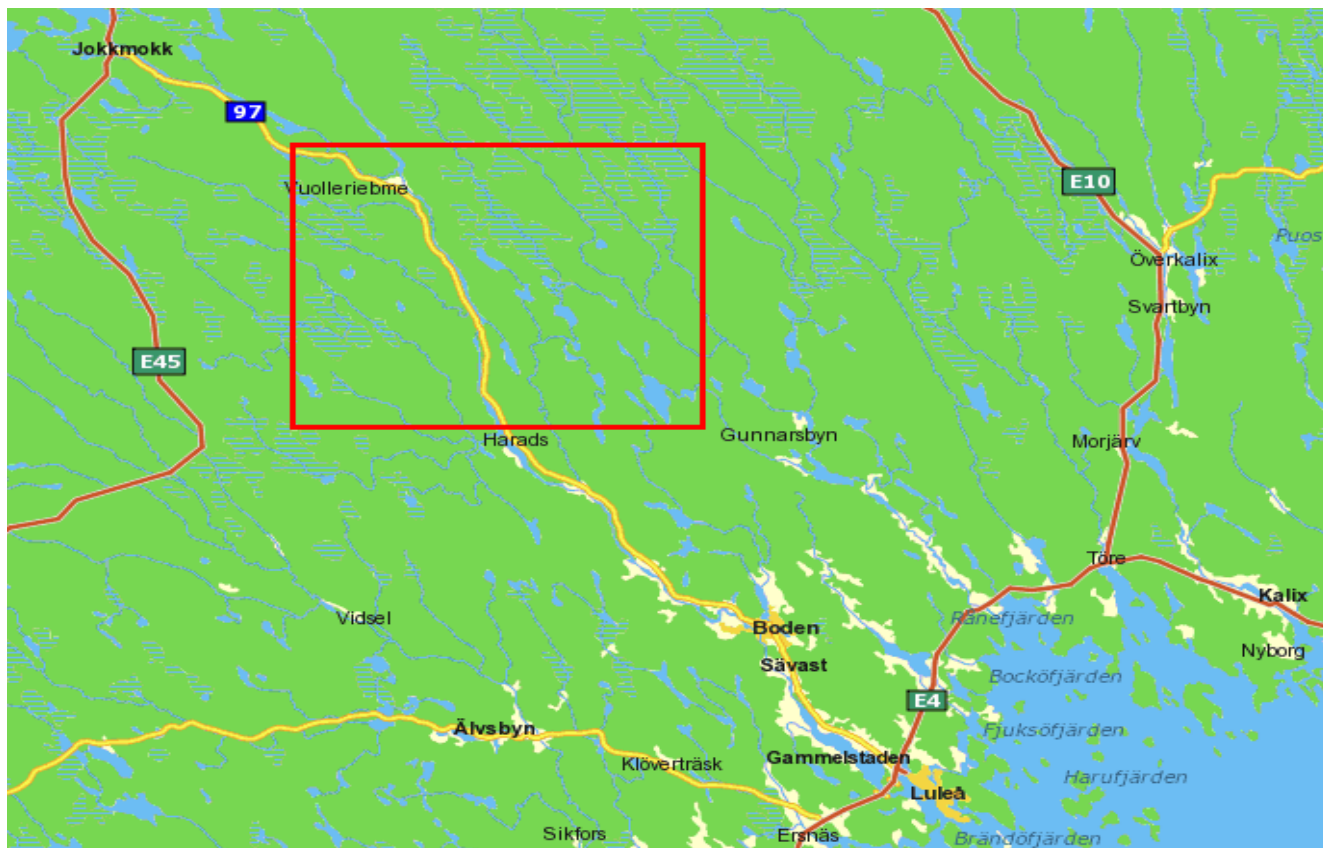
**Figur b1:1.** Den röda rutan på kartbilden visar försöksområdet på Medelpads skogsförvaltning.

**Figure b1:1.** The red square on the map display the survey area for Medelpads forest administration.



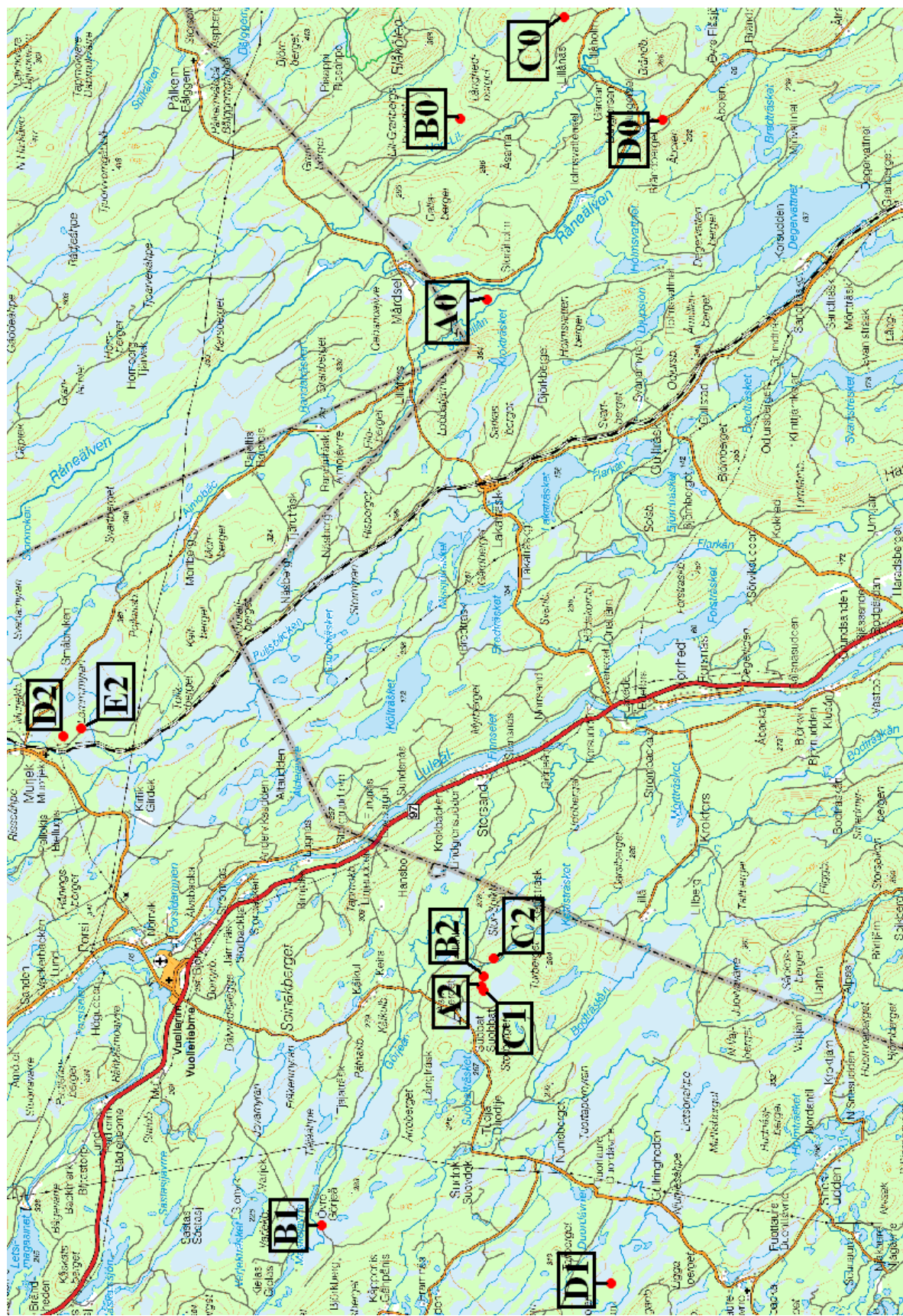
**Figur b1:2.** Detaljkarta över beståndens placering där provtagning genomförts i Jämtland och Medelpad.  
**Figure 1:2.** Detailed map over where the stands are situated in Jämtland and Medelpad.

## *Bilaga 2. Kartor över beståndens placering i Norrbotten*



**Figur b2:1.** Den röda rutan på kartbilden visar var försöksområdet på Norrbottens förvaltning är placerade.  
*Figure b2:1. The red square on the map display the survey area for Norrbottens forest administration*





**Figure b2:2.** Detaljkarta över beståndens placering i Norrbotten.  
*Figure b2:2. Detailed map over where the stands are situated in Norrbotten.*

### Bilaga 3. Analysresultat Medelpad

Medelpad	Bestånd																	
Provtagning	Enhet	B0	C0	E0	A0	D0	I0	F1	I1	K1	J1	X1	EE1	A2	D2	G2	H2	X2
Bor före	B (mg/kg TS)	20,6	16,1	9,01	15,9	9,78	5,72	16,4	6,42	19,8	12,8	7,71	18,7	15,4	14,5	11,4	15,5	7,67
Bor efter	B (mg/kg TS)	13,8	27,3	14,2	17,8	18,8	10,5	19,2	13,4	24,3	21,5	8,12	23,7	26,1	26,4	23,5	15,4	8,25
Diff. efter-före	B (mg/kg TS)	-6,80	11,20	5,19	1,90	9,02	4,78	2,80	6,98	4,50	8,70	0,41	5,00	10,70	11,90	9,00	4,00	-7,25
	% av provsvar	1	-33,01%	69,57%	57,60%	11,95%	92,23%	83,57%	17,07%	108,72%	22,73%	67,97%	5,32%	26,74%	69,48%	82,07%	78,95%	25,81%
Kväve före	B/N kvot	0,20%	0,15%	0,09%	0,19%	0,10%	0,07%	0,18%	0,07%	0,22%	0,12%	0,07%	0,19%	0,14%	0,16%	0,11%	0,18%	0,08%
Kväve efter	B/N kvot	0,08%	0,23%	0,11%	0,13%	0,13%	0,08%	0,15%	0,12%	0,21%	0,14%	0,06%	0,19%	0,24%	0,26%	0,19%	0,13%	0,06%
Diff. efter-före		-0,11%	0,08%	0,01%	-0,07%	0,03%	0,02%	-0,02%	0,05%	0,00%	0,02%	-0,01%	0,00%	0,09%	0,10%	0,08%	-0,05%	-0,01%
Före	N-tot (mg/kg TS)	10500	10600	9820	8180	10000	8510	9270	8620	9160	10400	11300	9930	10900	8840	10500	8490	9930
Efter	N-tot (mg/kg TS)	16810	11900	13360	13780	14620	12740	12630	10860	11380	15240	13780	12740	11070	10130	12210	11590	12840
Diff. efter-före	N (mg/kg TS)	6310	1300	3540	5600	4620	4230	3360	2240	2220	4840	2480	2810	170	1290	1710	3100	2910
	% av provsvar	1	60,10%	12,26%	36,05%	68,46%	46,20%	49,71%	36,25%	25,99%	24,24%	46,54%	21,95%	28,30%	1,56%	14,59%	16,29%	36,51%
pH mätning																		
Cacl2	pH	4,67	4,61	4,73	4,93	3,79	4,87	4,60	5,03	5,04	4,89	4,28	4,94	4,42	4,87	4,63	5,02	4,41
H2O	pH	4,91	5,40	5,07	4,96	4,32	4,97	5,14	5,02	5,09	5,17	4,58	4,86	4,73	4,89	4,89	5,28	4,64

#### Bilaga 4. Analysresultat Norrbotten

Norrbotten		Bestånd											
Provtagning	Enhet	A0	B0	C0	D0	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	E2
Bor före	B (mg/kg TS)	5,52	5,64	10,5	26,3	24,4	29,6	27,5	15,9	14	16,7	23,8	21,9
Bor efter	B (mg/kg TS)	6,21	8,45	12,6	30,1	39,5	28,9	36,8	20,9	14,3	21,4	30,4	21
Diff. efter-före	B (mg/kg TS)	0,69	2,81	2,10	3,80	15,10	-0,70	9,30	5,00	0,30	4,70	6,60	-0,90
	% av provsvar 1	12,50%	49,82%	20,00%	14,45%	61,89%	-2,36%	33,82%	31,45%	2,14%	28,14%	27,73%	-4,11%
Före	B/N kvot	0,06%	0,06%	0,13%	0,29%	0,30%	0,32%	0,29%	0,18%	0,15%	0,20%	0,30%	0,28%
Efter	B/N kvot	0,04%	0,05%	0,09%	0,19%	0,27%	0,20%	0,25%	0,13%	0,09%	0,16%	0,20%	0,14%
Diff. efter-före	Prov 2-Prov 1	-0,02%	0,00%	-0,04%	-0,10%	-0,03%	-0,12%	-0,05%	-0,05%	-0,07%	-0,04%	-0,10%	-0,13%
Kväve före	N-tot (mg/kg TS)	9380	9820	8180	9060	8180	9270	9380	8730	9060	8400	7960	7960
Kväve efter	N-tot (mg/kg TS)	15970	16000	14000	15900	14500	14820	14930	16180	16180	13150	14930	14930
Diff. efter-före	N (mg/kg TS)	6590	6180	5820	6840	6320	5550	5550	7450	7120	4750	6970	6970
	% av provsvar 1	70,26%	62,93%	71,15%	75,50%	77,26%	59,87%	59,17%	85,34%	78,59%	56,55%	87,56%	87,56%
<b>pH mätning</b>													
Cacl2	pH	4,57	3,5	3,91	4,98	4,41	4,76	3,58	4,83	4,3	4,43	4,56	4,49
H2O	pH	4,84	4,04	4,52	4,95	4,52	4,86	3,94	4,87	4,9	4,89	4,73	4,97

## ***Bilaga 5. Jämförelse av bor- och kvävehalt, före och efter gödsling***

**Tabell b5:1.** Resultatet av parat t-test mellan parametrarna B-halt efter och före gödsling för bestånden i Medelpad.

**Table b5:1.** *Result of paired T, Boron concentration after and before fertilization for stands in Medelpad.*

Parat t-test för borhalt efter gödsling och borhalt före gödsling, Medelpad

	N	Mean	StDev	SE Mean
B-halt efter gödsling	17	18,37	6,35	1,54
B-halt före gödsling	17	13,14	4,75	1,15
Difference	17	5,23	5,14	1,25

95% CI for mean difference: (2,59; 7,87)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 4,19 P-Value = 0,001

**Tabell b5:2.** Resultatet av parat t-test mellan parametrarna B-halt efter och före gödsling för bestånden i Norrbotten.

**Table b5:2.** *Result of paired T, Boron concentration after and before fertilization for stands in Norrbotten.*

Parat t-test för borhalt efter gödsling och borhalt före gödsling, Norrbotten

	N	Mean	StDev	SE Mean
B-halt efter gödsling	12	22,55	10,82	3,12
B-halt före gödsling	12	18,48	8,35	2,41
Difference	12	4,07	4,63	1,34

95% CI for mean difference: (1,13; 7,01)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 3,05 P-Value = 0,011

**Tabell b5:3.** Resultatet av parat t-test mellan parametrarna N-tot efter och före gödsling för bestånden i Medelpad.

**Table b5:3.** *Result of paired T, nitrogen concentration after and before fertilization for stands in Medelpad.*

Parat t-test för N-totalt efter och före gödsling, Medelpad

	N	Mean	StDev	SE Mean
N-tot efter	17	12805	1698	412
N-tot före	17	9703	947	230
Difference	17	3102	1629	395

95% CI for mean difference: (2264; 3940)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 7,85 P-Value = 0,000

**Tabell b5:4.** Resultatet av parat t-test mellan parametrarna N-tot efter och före gödsling för bestånden i Norrbotten.

**Table b5:4.** *Result of paired T, nitrogen concentration after and before fertilization for stands in Norrbotten.*

Parat t-test för N-totalt efter och före gödsling, Norrbotten

	N	Mean	StDev	SE Mean
N-tot efter	12	15124	957	276
N-tot före	12	8782	633	183
Difference	12	6343	799	231

95% CI for mean difference: (5835; 6850)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 27,50 P-Value = 0,000



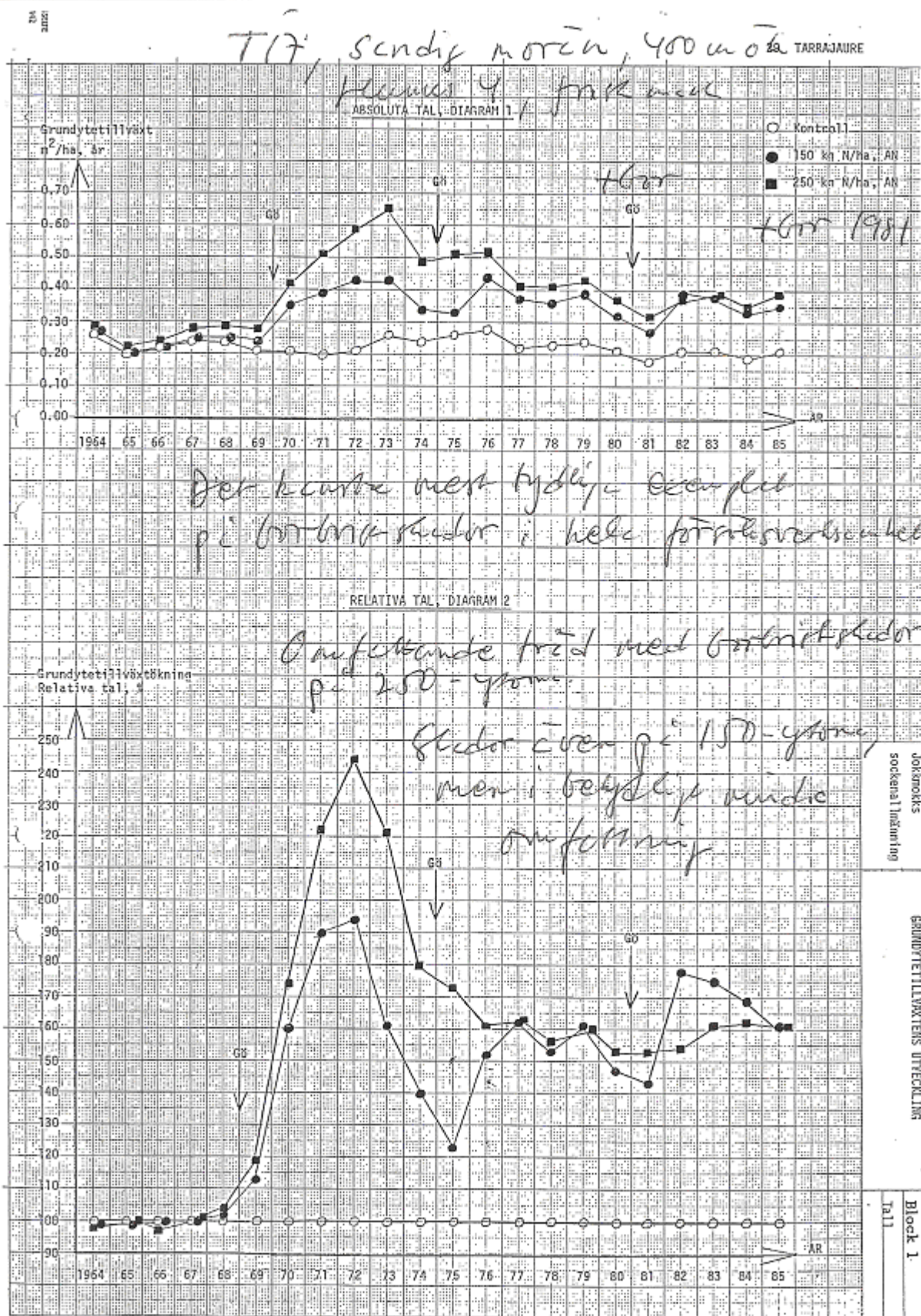
## Bilaga 6. Korrelationstest

**Tabell b6:1.** Korrelationen mellan B-halt före gödsling, differensen efter och före gödsling och olika faktorer från bestånden i Medelpad och Norrbotten.

*Table b6:1, Correlation between boron concentration before fertilization, differences after and before fertilization and different factors at the stands in Medelpad and Norrbotten.*

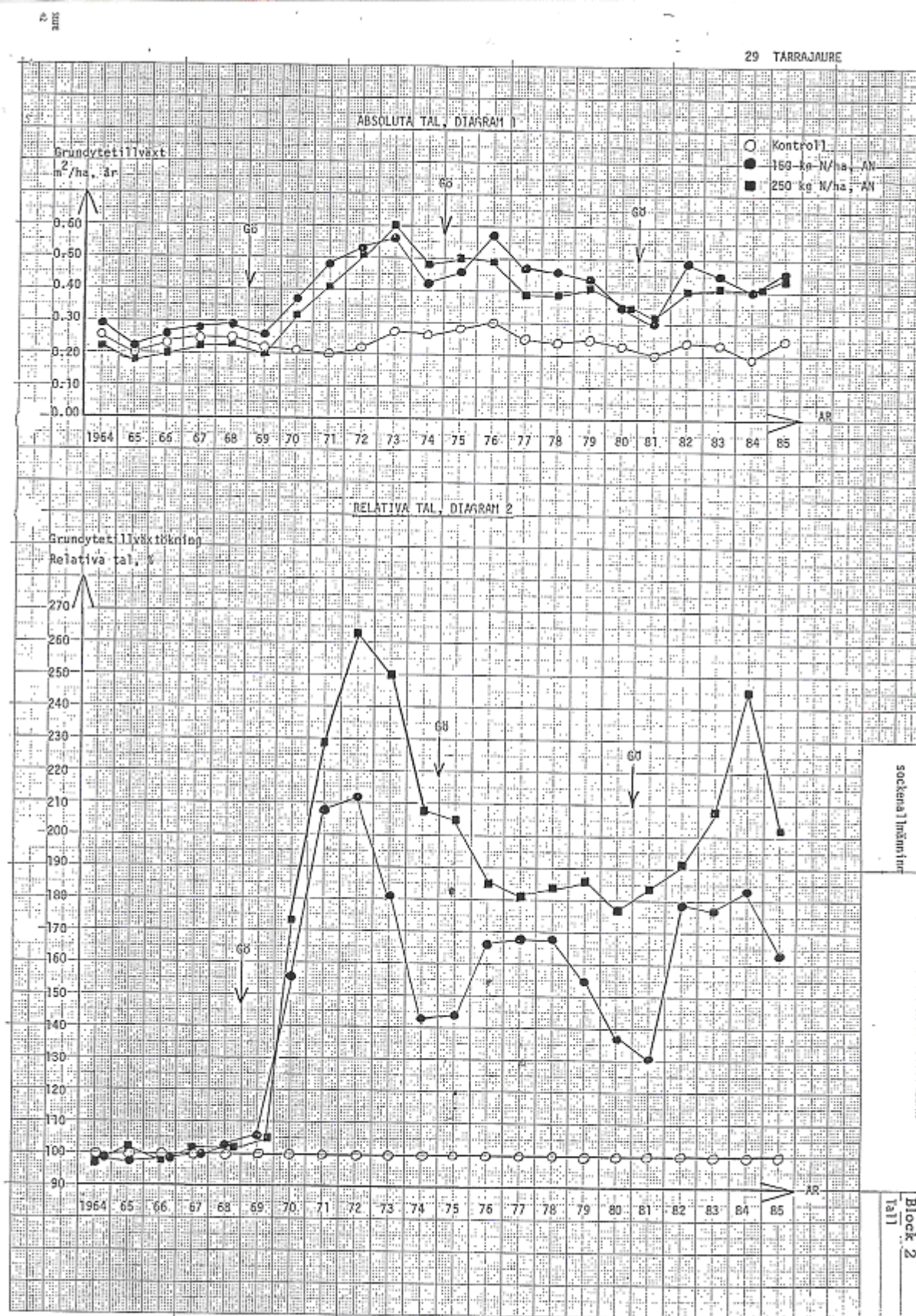
<b>Korrelationstest Medelpad och Norrbotten</b>			
		<b>B-halt före gödsling</b>	<b>Diff. B-halt</b>
<b>Diff. B-halt</b>	Pearson correlation	0,032	
	P-värde	<b>0,068</b>	
<b>Trädslag</b>	Pearson correlation	-0,052	0,137
	P-värde	<b>0,788</b>	<b>0,480</b>
<b>pH (CaCl2)</b>	Pearson correlation	0,120	-0,063
	P-värde	<b>0,537</b>	<b>0,747</b>
<b>pH (h2O)</b>	Pearson correlation	0,005	-0,115
	P-värde	<b>0,978</b>	<b>0,554</b>
<b>Avstånd t. Kust</b>	Pearson correlation	0,508	0,008
	P-värde	<b>0,005</b>	<b>0,969</b>
<b>h. ö. h.</b>	Pearson correlation	-0,119	0,177
	P-värde	<b>0,538</b>	<b>0,358</b>
<b>Temp.summa</b>	Pearson correlation	-0,518	-0,016
	P-värde	<b>0,004</b>	<b>0,934</b>
<b>Breddgrad</b>	Pearson correlation	0,387	-0,124
	P-värde	<b>0,038</b>	<b>0,522</b>
<b>Bonitet</b>	Pearson correlation	-0,460	-0,164
	P-värde	<b>0,012</b>	<b>0,394</b>
<b>Texturklass</b>	Pearson correlation	0,083	0,081
	P-värde	<b>0,669</b>	<b>0,676</b>

**Bilaga 7. 29 Tårarjaur block 1, absolut och relativ grundytetillväxt.**





**Bilaga 8. 29 Tårarjaur block 2, absolut och relativ grundytetillväxt.**





## 1005926





## 1925-26

